

**ISAAC NEWTON**

**OPTICA**



**ISAAC NEWTON**

**OPTICA**



Isaac Newton

---



## P R E F A Ț Ă

Optica este, în ordine cronologică, a doua operă importantă a lui I. Newton, prima fiind *Principiile matematice ale filozofiei naturale*, apărută în 1687. Deși autorul își datorește gloria științifică mai mult acesteia din urmă, nici Optica nu rămîne mai prejos, ambele fiind creații originale, produse ale unui geniu cum nu a mai cunoscut omenirea de la Arhimede încoace. Într-adevăr, dacă în *Principii* întâlnim marea sa descoperire din mecanică, gravitația universală, Optica expune rezultatele noi atît de importante pentru optică asupra analizei și proprietăților luminii și culorilor.

În ce privește felul expunerii, între cele două lucrări se observă o mare diferență: *Principiile* au un caracter mai mult matematic, cu demonstrații geometrice riguroase, greu de urmărit de cititorul de azi; Optica prezintă aproape numai descrieri de experiențe însoțite de teorii asupra naturii luminii și culorilor, ceea ce are avantajul că oricine posedă o cultură generală le poate citi cu ușurință. O altă deosebire între cele două opere constă în faptul că *Principiile* sînt o lucrare bine încheiată și terminată, care prezintă ultimul cuvînt al autorului în mecanică; Optica, dimpotrivă, este o lucrare neterminată, autorul ncavînd răgazul necesar să execute experiențele ce și le propusese.

În ce privește istoria acestei lucrări se pot spune pe scurt următoarele. Newton și-a început cariera de profesor la Universitatea din Cambridge predînd un curs de optică, pe care l-a continuat timp de aproape un deceniu. Lecțiile acestea, prin care a făcut cunoscute elevilor săi descoperirile sale de optică, avea de gînd să le tipărească, dar nu a reușit. Ele au apărut postum, sub titlul *Lectioes opticae*, în latină, în 1729.

Fiind ales membru al Societății Regale din Londra în 1672, Newton a început să-și comunice în ședințele acesteia atît experiențele de optică, cît și teoria sa asupra luminii și culorilor. Criticile ce i s-au

*adus de către unii fizicieni, mai ales de către colegul său Robert Hooke, l-au amărît atît de mult, încît nu a mai publicat nimic din această parte a fizicii cît timp a trăit acest înverșunat adversar al teoriilor sale. După moartea lui Hooke în 1703, Newton, la insistența prietenilor săi, s-a decis să-și publice lucrarea pe care o pregătise.*

*Optica a apărut mai întîi în limba engleză, sub titlul Optics : or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light, în 1704. Volumul mai cuprindea două lucrări de matematică ale autorului, și anume Enumeratio linearum tertii ordinis și Tractatus de quadratura curvarum\*.*

*Samuel Clarke, prieten al lui Newton, a scos în 1706 o traducere latinească avînd titlul Optice, sive de reflexionibus, refractionibus, inflexionibus et coloribus lucis. A doua ediție engleză a cărții a văzut lumina tiparului în 1717. Aici cele două lucrări de matematică au fost înlocuite cu celebrele Queries (Probleme), în care problemele nelămurite ale fizicii sînt tratate mai mult din punct de vedere filozofic. În 1719 apare a doua ediție latinească, urmată în 1721 de a treia ediție engleză. În fine, în 1730 apare postum ediția a patra engleză, pe care o revăzuse Newton.*

*Lucrarea de față este prima traducere românească a acestei opere, făcută după ediția din 1730. Textul definitiv l-am stabilit după compararea cu traducerea franceză a lui Costes, Traité d'Optique, din 1720, și cu cea germană a lui W. Abendroth, în două volume, din 1898.*

*Portretul de la începutul volumului se datorește pictorului Kneller și-l reprezintă pe Newton la vremea cînd se ocupa cu problemele de optică. Am pus și o fotocopie a foi de titlu a primei ediții a Opticii, din cauza importanței sale documentare. Figurile din text le-am reprodus fidel după cele originale, iar planșele au fost împrumutate din The Correspondence of Isaac Newton, editată de H. W. Turnbull și îngrijită de Societatea Regală, volumul I, 1959; mulțumim editurii Cambridge University Press, pentru permisiunea dată la reproducerea acestor planșe.*

---

\* Enumerarea curbelor de ordinul al III-lea și Tratat despre cuadratura curbelor.

*Nici o ediție a Opticii lui Newton nu are tablă de materii, de aceea se impune aici un scurt rezumat al cuprinsului ei. Opera e împărțită în trei Cărți.*

*Cartea întâi începe cu o expunere succintă a cunoștințelor de optică din timpul autorului, după care urmează descrierea experiențelor sale proprii asupra reflexiei, refracției și dispersiei luminii. De asemenea descrie telescopul cu reflexie, inventat și construit de Newton.*

*Cartea a doua se ocupă cu culorile lamelor subțiri transparente, cu culorile naturale ale corpurilor și ale plăcilor groase.*

*Cartea a treia descrie experiențele lui Newton asupra difracției luminii. Considerînd că experiențele sale nu sînt complete și consecințele trase din ele nu sînt cu totul convingătoare, el pune la sfîrșit un număr de 32 de probleme „pentru ca cercetările să fie continuate de alții”.*

*În sfîrșit, menționez că am pus și cîteva adnotări necesare precizării textului, cuprinzînd fie trimiteri bibliografice, fie redarea în românește a expresiilor latinești folosite de autor sau mici observații lămuritoare.*

Cluj, 14 iulie 1969

VICTOR MARIAN

# Avertismentele lui sir Isaac Newton

## INTRODUCERE I

O parte a tratatului despre lumină aici de față a fost scrisă, la dorința unor membri ai Societății Regale în 1675, apoi trimisă Secretarului ei și citită în ședințe, iar restul a fost adăugat după vreo doisprezece ani pentru a completa teoria, cu excepția cărții a treia și a ultimei propoziții a cărții a doua, care au fost strânse din diverse hîrtii disparate. Pentru a evita angajarea în dispute în legătură cu subiectele tratate, am amînat pînă acum tipărirea și aș mai fi amînat-o încă dacă nu m-ar fi determinat îndemnurile prietenilor. Dacă alte scrieri asupra acestui subiect ieșite din miinile mele sînt imperfecte, ele au fost scrise, poate, înainte ca eu să fi încercat toate experiențele descrise acolo și de a mă fi satisfăcut complet pe mine însumi în ce privește legile refracției și compunerea culorilor. Aici am publicat ceea ce consider potrivit să fie cunoscut, dorind ca acestea să nu fie traduse în alte limbi fără consimțămîntul meu.

Am încercat să explic inelele colorate care apar uneori în jurul Soarelui și al Lunii, dar din lipsă de observații suficiente rămîne ca această materie să mai fie examinată. Subiectul cărții a treia de asemenea l-am lăsat imperfect, nefăcînd toate experiențele pe care intenționez să le fac cînd am tratat această materie, nici nu am repetat unele dintre acelea pe care le-am încercat, așa încît să fiu satisfăcut eu însumi cu toate condițiile în care se desfășoară ele. Singurul meu scop în publicarea acestor scrieri este să comunic ce am experimentat eu însumi și las restul altora pentru cercetări ulterioare.

Într-o scrisoare adresată d-lui Leibnitz în 1679, și publicată de d-rul Wallis am menționat o metodă prin care am găsit cîteva teoreme generale privitoare la cvadratura figurilor curbilinii sau compararea lor cu secțiunile conice sau cu alte figuri mai simple cu care pot fi comparate. Acum cîteva ani am redactat un manuscris cuprinzînd astfel de teoreme și, copiind cîteva lucruri din el, le-am publicat cu această ocazie, punînd înainte o introducere și anexînd o notă explicativă privitoare la această metodă. I-am alăturat un

alt mic tratat privitor la figurile curbilinii de ordinul al doilea, care de asemenea a fost scris cu cîțiva ani în urmă, și a fost făcut cunoscut cîtorva prieteni care au solicitat publicarea lui.

I. N.

*1 aprilie 1704*

## INTRODUCERE II

În această a doua ediție a *Opticii* am suprimat tratatele matematice publicate la sfîrșitul ediției anterioare ca neapartîinînd subiectului. La sfîrșitul cărții a treia am adăugat cîteva probleme. Pentru a arăta că eu nu consider gravitația ca o proprietate esențială a corpurilor, am adăugat o problemă privitoare la cauza ei, căutînd s-o pun sub formă de problemă, deoarece pînă acum nu sînt mulțumit de ea din lipsă de experiențe.

I. N.

*16 iulie 1717*

## INTRODUCERE LA EDIȚIA A PATRA

Această nouă ediție a *Opticii* lui sir Isaac Newton este tipărită cu îngrijire după ediția a treia, cum a fost corectată de mina autorului însuși și lăsată înaintea morții sale la librar. Deoarece *Lectiões opticae* ale lui sir Isaac, pe care le-a ținut în mod public la Universitatea din Cambridge în 1669, 1670 și 1671, au fost tipărite postum, s-a crezut potrivit să se pună în josul paginilor mai multe citate din acestea unde pot fi găsite demonstrațiile pe care autorul le-a suprimat în această *Optică*.

# Cartea întâi a OPTICII

## PARTEA I

Intenția mea în această Carte nu este de a explica proprietățile luminii prin ipoteze, ci de a le expune și demonstra cu ajutorul raționamentelor și al experiențelor. În acest scop voi enunța următoarele definiții și axiome.

### DEFINIȚII

#### DEFINIȚIA I

*Prin raze de lumină înțeleg părțile ei cele mai mici, și anume atât succesiv în aceleași linii, cât și simultan în diverse linii. Într-adevăr, este evident că lumina constă din părți, atât succesive, cât și simultane; în același loc puteți opri ceea ce vine la un moment dat și lăsa să treacă ceea ce vine imediat după aceasta; în același timp o puteți opri în orice loc și lăsa să treacă în oricare altul. Căci partea luminii care e oprită nu poate fi aceeași cu cea care e lăsată să treacă. Cea mai mică lumină sau parte de lumină care poate fi oprită singură fără restul luminii sau care se poate propaga singură ori poate provoca sau suferi singură ceva ce nu realizează sau nu suferă restul luminii eu o numesc rază de lumină.*

#### DEFINIȚIA II

*Refrangibilitatea razelor de lumină este aptitudinea lor de a fi refractate sau deviate din drumul lor trecând dintr-un corp sau mediu*



*transparent în altul. O refrangibilitate mai mare sau mai mică a razelor este determinată de aptitudinea lor de a fi deviate mai mult sau mai puțin din drumul lor la incidențe identice în același mediu. Matematicienii de obicei consideră razele de lumină ca linii ce se întind de la corpul luminos până la corpul luminat, iar refracția acestor raze ca fiind îndoirea sau frângerea acestor linii la trecerea lor dintr-un mediu în altul. Și desigur că razele și refracțiile ar putea fi considerate în felul acesta dacă lumina s-ar propaga instantaneu. Dar, considerînd argumentația bazată pe ecuațiile timpurilor eclipselor sateliților lui Jupiter, se pare că lumina se propagă în timp, stabilind distanța de la Soare până la noi în aproximativ șapte minute. De aceea am preferat să definesc razele și refracțiile în termeni atît de generali, încît să se potrivească pentru lumină în ambele cazuri.*

#### DEFINIȚIA III

*Reflexibilitatea razelor este aptitudinea lor de a fi reflectate sau întoarse înapoi în același mediu de un alt mediu pe suprafața căreia cad. Razele sînt mai mult sau mai puțin reflexibile, în funcție de faptul că sînt întoarse înapoi mai ușor sau mai greu. Dacă lumina trece din sticlă în aer și este înclinată din ce în ce mai mult spre suprafața comună a sticlei și a aerului, ea începe să fie total reflectată de aceea suprafață; tipurile de raze care pentru aceeași incidență sînt reflectate mai mult sau care prin înclinare încep mai repede să fie reflectate total sînt mai reflexibile.*

#### DEFINIȚIA IV

*Unghiul de incidență este unghiul pe care îl formează linia descrisă de raza incidentă cu perpendiculara la suprafața de reflexie sau de refracție în punctul de incidență.*

#### DEFINIȚIA V

*Unghiul de reflexie sau de refracție este unghiul format de linia descrisă de raza reflectată sau refractată cu perpendiculara la suprafața de reflexie sau de refracție în punctul de incidență.*

## DEFINIȚIA VI

*Sinusurile de incidență, de reflexie și de refracție sînt sinusurile unghiurilor de incidență, de reflexie și de refracție.*

## DEFINIȚIA VII

*Lumina ale cărei raze sînt toate la fel de refrangibile eu o numesc simplă, omogenă și similară, iar aceea a cărei raze sînt unele mai refrangibile decît altele, o numesc compusă, eterogenă și disimilară. Lumina de primul tip o numesc omogenă, nu fiindcă ea este astfel în toate privințele, ci fiindcă razele care se potrivesc ca refrangibilitate se potrivesc cel puțin și în celelalte proprietăți pe care le examinez în tratatul de față.*

## DEFINIȚIA VIII

*Culorile luminii omogene eu le numesc primare, omogene și simple, iar pe cele ale luminii eterogene le numesc eterogene și compuse, fiindcă acestea sînt întotdeauna compuse din culorile luminii omogene, după cum se va vedea în tratatul ce urmează.*

## AXIOME

## AXIOMA I

*Unghiurile de reflexie și de refracție se găsesc în același plan cu unghiul de incidență.*

## AXIOMA II

*Unghiul de reflexie este egal cu unghiul de incidență.*

## AXIOMA III

*Dacă raza refractată este întoarsă înapoi direct la punctul de incidență, ea va fi refractată pe linia descrisă mai înainte de raza incidentă.*

## AXIOMA IV

*Refracția dintr-un mediu mai rar într-unul mai dens se face înspre perpendiculară, adică în așa fel încît unghiul de refracție să fie mai mic decît unghiul de incidență.*

## AXIOMA V

*Sinusul unghiului de incidență se află într-un anumit raport, fie exact, fie foarte apropiat, cu sinusul unghiului de refracție.*

Prin urmare, dacă se cunoaște acest raport pentru o înclinație a razei incidente, el se cunoaște pentru toate înclinațiile și în acest fel poate fi determinată refracția în toate cazurile de incidență pe același corp refringent. Astfel, dacă refracția are loc din aer în apă, sinusul de incidență al luminii roșii către sinusul ei de refracție se află în raportul 4/3. Dacă refracția are loc din aer în sticlă, sinusurile sînt în raportul 17/11. Pentru lumina de alte culori, sinusurile au

alte rapoarte, dar diferența este atît de mică, încît rareori trebuie să fie luată în considerare.

Presupun deci că  $RS$  (fig. 1) reprezintă suprafața apei liniștite și că  $C$  este punctul de incidență în care orice rază venind în aer de la  $A$  pe linia  $AC$  este reflectată sau refractată; aș vrea să știu încotro va merge această rază după reflexie sau refracție. Atunci ridic pe suprafața apei din punctul de incidență perpendiculara  $CP$  și o prelungesc în jos pînă în  $Q$ ; conchid, conform primei axiome, că raza după reflexie și refracție se va găsi undeva în planul unghiului de

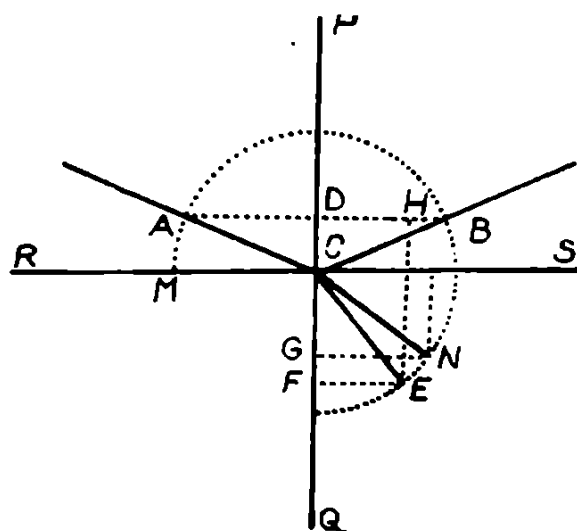


Fig. 1

incidență  $ACP$  prelungit. Prin urmare, las să cadă pe perpendiculara  $CP$  sinusul de incidență  $AD$ ; dacă vreau să aflu raza reflectată, prelungesc pe  $AD$  pînă în  $B$ , astfel ca  $DB$  să fie egală cu  $AD$ , și trasez  $CB$ . Într-adevăr, linia  $CB$  va fi raza reflectată, unghiul de reflexie  $BCP$  și sinusul lui  $BD$  fiind egale cu unghiul și sinusul de incidență, conform axiomei a doua. Dacă se cere raza refractată, prelungesc

pe  $AD$  în  $H$ , astfel ca  $DH$  să se raporteze la  $AD$  ca sinusul de refracție către sinusul de incidență, adică (dacă lumina este roșie) ca 3. la 4 ; din centrul  $C$  și în planul  $ACP$  cu raza  $CA$ , descriind cercul  $ABE$ , duc o paralelă la perpendiculara  $CPQ$ , linia  $HE$  tăind circumferința în  $E$ , și, unind  $C$  cu  $E$ , linia  $CE$  va fi linia razei refractate. Căci, dacă  $EF$  cade perpendicular pe linia  $PQ$ , linia  $EF$  va fi sinusul de refracție al razei  $CE$ , unghiul de refracție fiind  $ECQ$  ; sinusul  $EF$  este egal cu  $DH$  și, în consecință, în raport cu sinusul de incidență  $AD$  ca 3 la 4.

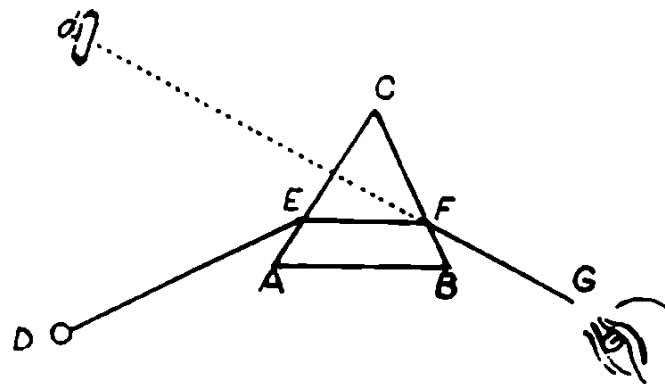


Fig. 2

La fel, dacă avem o prismă de sticlă (adică o sticlă mărginită la capete de două fețe triunghiulare egale și paralele, avînd trei fețe laterale plane și bine șlefuite care se întîlnesc de-a lungul celor trei linii paralele ce pornesc din cele trei unghiuri ale feței de la un capăt la cele trei unghiuri ale celeilalte fețe de la celălalt capăt) și dacă se cere refracția luminii care traversează această prismă, atunci fie  $ACB$  în figura 2 un plan care taie prismă transversal pe cele trei linii paralele sau muchii în locul unde lumina trece prin ea și fie  $DE$  raza incidentă pe prima față  $AC$  a prisme pe unde lumina intră în sticlă ; punînd raportul sinusului de incidență către sinusul de refracție  $17/11$ , obținem prima rază refractată  $EF$ . Apoi, luînd această rază ca rază incidentă pe a doua față  $BC$  a sticlei unde lumina iese afară, obținem următoarea rază refractată  $FG$ , punînd raportul sinusului de incidență către sinusul de refracție  $11/17$ . Prin urmare, dacă sinusul de incidență din aer în sticlă către sinusul de refracție este  $17/11$ , atunci sinusul de incidență din sticlă în aer către sinusul de refracție, dimpotrivă, trebuie să fie  $11/17$ , conform axiomei a treia.

În același fel, dacă  $ACBD$  reprezintă în figura 3 o sticlă avînd ambele fețe sferice convexe (în mod obișnuit numită *lentilă*, așa cum

este lupa sau sticla de ochelari sau un obiectiv de telescop) și dacă vrem să știm cum se refractă lumina care vine din punctul luminos  $Q$  și cade pe ea, atunci fie  $QM$  o rază ce cade într-un punct  $M$  al primei ei suprafețe sferice  $ACB$  și, ridicînd o perpendiculară la sticlă în punctul  $M$ , găsim prima rază refractată  $MN$  din raportul sinusurilor de 17/11. Fie raza ce iese din sticlă incidentă în  $N$ ; atunci găsim

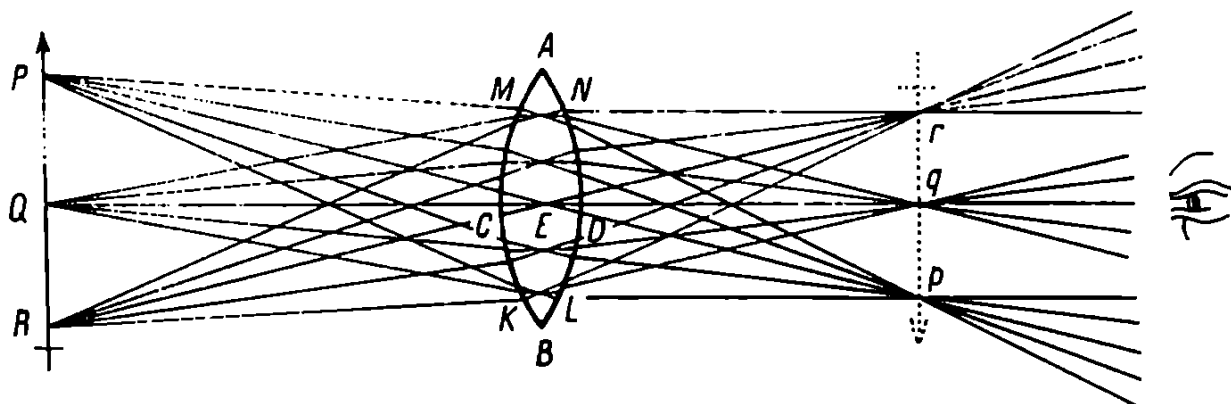


Fig. 3

a doua rază refractată  $Nq$  din raportul sinusurilor de 11/17. În același fel putem găsi refracția cînd lentila are o față convexă, iar cealaltă plană sau concavă ori ambele fețe concave.

#### AXIOMA VI

*Razele omogene care vin din diferite puncte ale unui obiect și cad perpendicular sau aproape perpendicular pe un plan reflectator sau refractor ori pe o suprafață sferică vor devia din tot atîtea puncte sau vor fi paralele la atîtea linii ori vor converge spre tot atîtea puncte fie exact, fie fără vreo eroare apreciabilă. Același lucru se va întîmpla dacă razele vor fi reflectate sau refractate succesiv de două, de trei sau de mai multe plane sau suprafețe sferice.*

Punctul din care diverg sau converg razele poate fi numit *focarul* lor. Focarul razelor incidente fiind dat, se poate găsi și acela al mai multor raze reflectate sau refractate prin aflarea refracției oricăror două raze, ca mai sus, sau mai degrabă astfel :

*Cazul I.* Fie  $ACB$  (fig. 4) un plan reflectator sau refractor și  $Q$  focarul razelor incidente, iar  $QqC$  o perpendiculară la acest plan. Dacă se prelungește această perpendiculară pînă în  $q$  astfel ca  $qC$  să fie egală cu  $QC$ , punctul  $q$  va fi focarul razelor reflectate sau, dacă

se ia  $qC$  de aceeași parte a planului cu  $QC$  și în raport cu  $QC$  ca sinusul de incidență către sinusul de refracție, punctul  $q$  va fi focarul razelor refractate.

*Cazul II.* Fie  $ACB$  (fig. 5) suprafața reflectatoare a unei sfere al cărei centru este  $E$ . Înjumătățiți o rază oarecare a acesteia (de exemplu  $EC$ ) în  $T$  și, dacă luați pe această rază punctele  $Q$  și  $q$

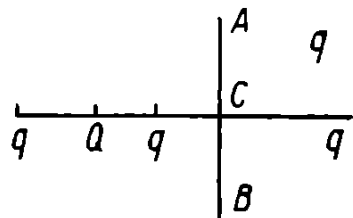


Fig. 4

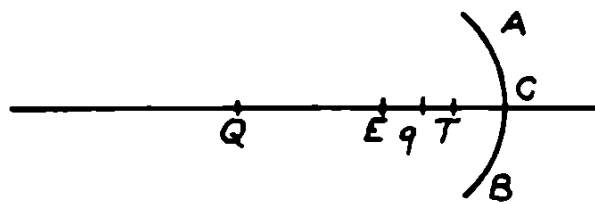


Fig. 5

de aceeași parte a punctului  $T$  astfel ca  $TQ$ ,  $TE$  și  $Tq$  să fie continuu\* proporționale, iar punctul  $Q$  focarul razelor incidente, punctul  $q$  va fi focarul celor reflectate.

*Cazul III.* Fie  $ACB$  (fig. 6) suprafața refractatoare a unei sfere al cărei centru este  $E$ . Pe o rază oarecare  $EC$  a acesteia, prelungită de ambele părți, luați  $ET$  și  $Ct$  egale între ele și având fiecare același raport către rază pe care-l are cel mai mic dintre sinusurile

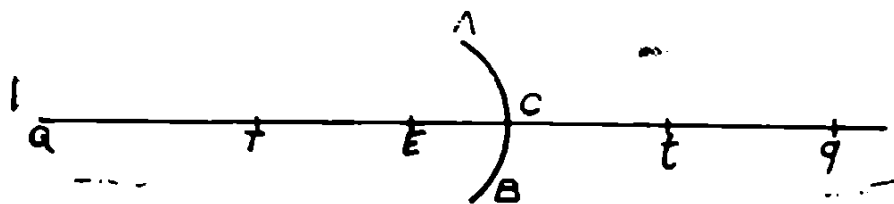


Fig. 6

de incidență sau de refracție către diferența acestor sinusuri. Apoi, dacă pe aceeași linie găsiți alte două puncte  $Q$  și  $q$  astfel ca  $TQ$  să fie către  $ET$  ca  $Et$  către  $tq$ , luând  $tq$  de partea opusă lui  $t$  decât se află  $TQ$  față de  $T$ , și dacă punctul  $Q$  este focarul unor raze incidente, punctul  $q$  va fi focarul celor refractate.

În același fel se poate găsi focarul razelor după două sau mai multe reflexii sau refracții.

$$* \frac{TQ}{TE} = \frac{TE}{Tq}.$$



**Cazul IV.** Fie  $ACBD$  (fig. 7) o lentilă refractatoare avînd oricare parte sferic convexă, concavă sau plană și fie  $CD$  axa ei (adică linia care taie perpendicular ambele ei suprafețe și trece prin centrele sferelor). Pe această axă prelungită fie  $F$  și  $f$  focarele razelor refractate găsite ca mai sus, cînd razele incidente de ambele părți ale lentilei sînt paralele la aceeași axă; se descrie un cerc pe diametrul  $Ff$  înju-

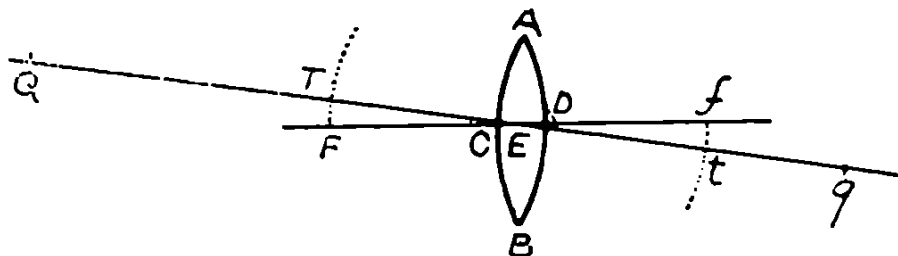


Fig. 7

mătășit în  $E$ . Presupuneți acum că un punct oarecare  $Q$  este focarul unor raze incidente. Trasați  $QE$  care taie cercul amintit în  $T$  și  $t$  și luați acolo  $tq$  în același raport către  $tE$  ca  $tE$  sau  $TE$  către  $TQ$ . Fie  $tq$  situat în sens contrar față de  $t$  decât este  $TQ$  față de  $T$ ; atunci  $q$  va fi focarul razelor refractate fără nici o eroare apreciabilă, cu condiția ca punctul  $Q$  să nu fie departe de axă, nici lentila atît de groasă ca să facă unele raze să cadă oblic pe suprafețele refractatoare\*.

Prin operații asemănătoare se pot afla suprafețele reflectatoare sau refractatoare cînd sînt date cele două focare și astfel se formează o lentilă care va face razele să cadă spre sau să vină din locul care vă place\*\*.

Deci sensul acestei axiome este că, dacă razele cad pe o suprafață plană sau sferică ori pe o lentilă și înaintea incidenței lor ele vin sau merg spre un punct oarecare  $Q$ , după reflexie sau refracție vor veni sau vor merge de la sau spre punctul  $q$  conform regulilor precedente. Dacă razele incidente vin de la sau merg spre mai multe puncte  $Q$ , razele reflectate sau refractate vor veni de la sau vor merge spre tot atîtea puncte  $q$  găsite după aceleași reguli. Se află ușor dacă razele reflectate sau refractate vin de la sau merg spre punctul  $q$  tocmai din poziția aceluși punct. Într-adevăr, dacă acest punct este, ca și punctul  $Q$ , de aceeași parte a suprafeței reflectatoare sau refractatoare ori a lentilei și razele incidente vin din punctul  $Q$ , atunci cele reflectate merg spre punctul  $q$ , iar cele refractate de la el; dacă razele

\* Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea I, secți. IV, propoziția 29, 30.

\*\* Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea I, secți. IV, prop. 34.

incidente merg spre  $Q$ , cele reflectate merg de la  $q$ , iar cele refractate spre el. Totul se întâmplă invers cînd  $q$  este de cealaltă parte a suprafeței.

#### AXIOMA VII

*Ori de cîte ori razele care vin din toate punctele vreunui obiect se întîlnesc din nou în tot atîtea puncte după ce au fost făcute convergente prin reflexie sau refracție, vor forma o imagine a obiectului pe orice corp alb pe care cad.*

Astfel, dacă  $PR$  (fig. 3) reprezintă un obiect din exterior și  $AB$  este o lentilă așezată în dreptul unui orificiu făcut în oblonul unei camere întunecate prin care razele care vin de la un punct  $Q$  al aceluși obiect sînt făcute convergente și se întîlnesc iarăși în punctul  $q$  și dacă se ține o foaie de hîrtie albă în  $q$  pentru ca acolo lumina să cadă pe ea, imaginea aceluși obiect  $PR$  va apărea pe hîrtie în formă și culorile proprii. Într-adevăr, după cum lumina care vine de la punctul  $Q$  merge spre punctul  $q$ , la fel lumina care vine de la alte puncte  $P$  și  $R$  ale obiectului vor merge la tot atîtea puncte corespunzătoare  $p$  și  $r$  (după cum ne arată axioma VI), astfel că fiecare punct al obiectului va lumina un punct corespunzător al imaginii și astfel se obține o imagine asemănătoare obiectului ca formă și culoare, cu singura deosebire că imaginea va fi inversă. Aceasta e baza experienței cunoscute pentru a obține imaginea unui obiect din exterior pe un perete sau pe o foaie de hîrtie albă într-o cameră întunecată.

La fel, cînd un om privește un obiect  $PQR$  (fig. 8), lumina care vine din diferite puncte ale obiectului este astfel refractată de învelișurile și de umorile transparente ale ochiului (adică de învelișul extern  $EFG$ , numit *tunica cornea*\* și de umoarea cristalină  $AB$  care este dincolo de pupila  $mk$ , încît converge și se întîlnește iarăși în tot atîtea puncte în fundul ochiului și acolo dă imaginea obiectului pe acest înveliș (numit *tunica retina*\*\*) cu care e acoperit fundul ochiului. Pentru anumiști, dacă au îndepărtat de pe fundul ochiului acel înveliș exterior și pe cel mai gros, numit *dura mater*\*\*\*, pot să vadă prin învelișurile mai subțiri imaginile obiectelor formate pe el. Aceste imagini, propagate prin mișcarea de-a lungul fibrelor nervilor optici

---

\* corneea.

\*\* retina.

\*\*\* sclerotica.

pînă la creier, sînt cauza vederii. Fiindcă, după cum aceste imagini sînt perfecte sau imperfecte, obiectul apare perfect sau imperfect. Dacă ochiul este colorat de vreo culoare (ca la boala lui *Jaundice*\*), astfel ca să coloreze imaginile din fundul ochiului cu acea culoare, atunci toate obiectele par a fi colorate cu aceeași culoare. Dacă umorile ochiului la o vîrstă înaintată se alterează, astfel că la contracție fac să devină *corneea* și învelișul *umorii cristaline* mai plate decît înainte, lumina nu va fi refractată suficient și, în lipsa unei

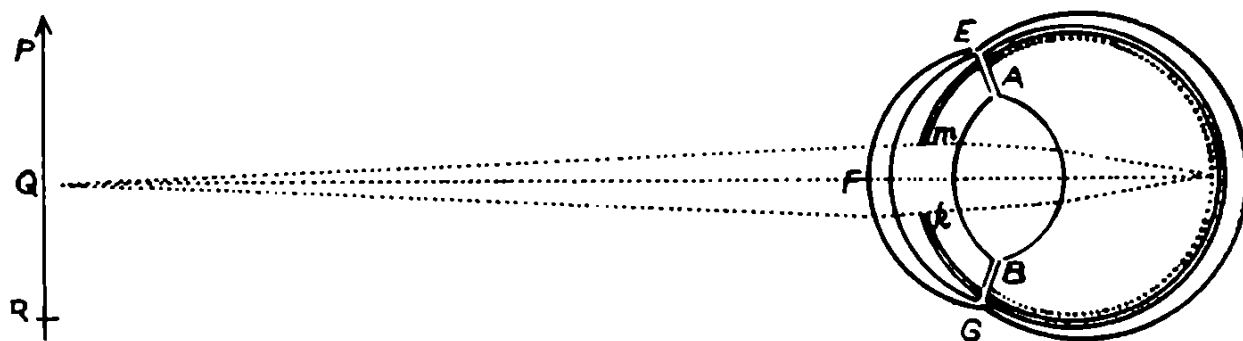


Fig. 8

refracției suficiente, nu va converge în fundul ochiului, ci undeva înapoia lui, și, în consecință, va forma în fundul ochiului o imagine confuză și, datorită neclarității imaginii, obiectul va apărea confuz. Aceasta este cauza slăbirii vederii la bătrîni și indică de ce vederea lor este corijată de ochelari. Deoarece lentilele convexe corectează lipsa curburii ochiului, și prin mărirea refracției fac ca razele să converge mai repede, astfel că se strîng în puncte distincte în fundul ochiului dacă lentila are un grad potrivit de convexitate. La miopi, ai căror ochi sînt prea bombați, se întîmplă invers. Deoarece refracția este acum prea mare, razele converg și se adună în ochi înainte de a ajunge în fund, și de aceea imaginea formată în fund și vederea determinată în acest fel nu va fi distinctă decît atunci cînd obiectul se aduce atît de aproape de ochi încît locul în care se adună razele convergente poate fi depărtat pînă în fund sau dacă curbura ochiului ar fi înlăturată și refracțiile micșorate cu ajutorul unei lentile concave datorită gradului ei de concavitate, ori, în fine, cu vîrsta, cînd ochiul devine mai plat și capătă forma normală. Într-adevăr, miopii văd mai bine obiectele depărtate la bătrînețe și de aceea se spune că ei au ochii cei mai persistenți.

---

\* icter.

## AXIOMA VIII

*Un obiect privit prin reflexie sau refracție apare în locul din care diverg razele după ultima lor reflexie sau refracție căzînd pe ochiul observatorului.*

Dacă un obiect  $A$  (fig. 9) este privit prin reflexie într-o oglindă  $mn$ , el nu va apărea în locul unde se află de fapt  $A$ , ci în spatele oglinzii în  $a$ , de la care razele  $AB$ ,  $AC$ ,  $AD$ , care vin din unul și același

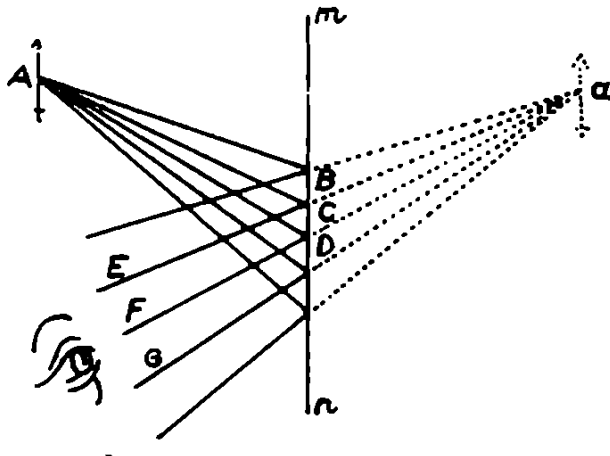


Fig. 9

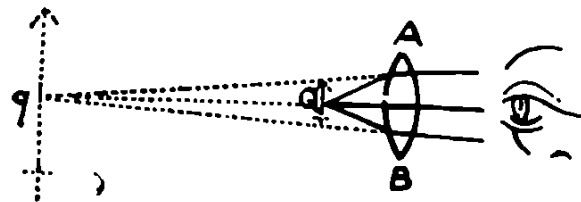


Fig. 10

punct al obiectului, obținute după reflexia din punctele  $B$ ,  $C$ ,  $D$ , diverg mergînd de la lentilă în  $E$ ,  $F$ ,  $G$ , unde ajung în ochii observatorului. Într-adevăr, razele formează aceeași imagine în fundul ochilor ca și cînd ar veni de la obiectul așezat de fapt în  $a$  și n-ar exista interpunerea oglinzii; întreaga vedere se face corespunzător locului și formei imaginii.

În același fel, obiectul  $D$  (fig. 2), privit printr-o prismă, nu apare în locul său adevărat  $D$ , ci transpus de acolo într-un alt loc  $d$ , situat pe ultima rază refractată  $FG$ , prelungită înapoi din  $F$  în  $d$ .

La fel, obiectul  $Q$  (fig. 10), privit prin lentila  $AB$ , apare în locul  $q$ , din care diverg razele la trecerea lor de la lentilă la ochi. Notăm că imaginea obiectului în  $q$  este cu atît mai mare sau mai mică decît obiectul însuși în  $Q$ , cu cît distanța imaginii în  $q$  de la lentila  $AB$  este mai mare sau mai mică decît distanța obiectului în  $Q$  de la aceeași lentilă. Dacă obiectul este privit prin două sau mai multe lentile convexe sau concave, fiecare lentilă va forma o imagine nouă,

iar obiectul va apărea în locul și de mărimea ultimei imagini. Pe aceste considerații se sprijină teoria microscopelor și a telescoapelor. De fapt teoria aproape că nu constă în altceva decât în descrierea unor astfel de lentile care fac ultima imagine a unui obiect oarecare să fie cât mai distinctă, largă și luminoasă cu putință.

În axiome și explicarea lor am dat rezultatul a ceea ce a fost tratat pînă acum în optică. Mă mulțumesc ca cele ce au fost admise în general, să le cuprind sub noțiunea de principii, față de ceea ce am să scriu de aici înainte. Aceasta poate fi suficient pentru a introduce în optică pe cititorii ageri la minte și inteligenți, dar neinițiați. Iar cei care sînt deja familiarizați cu această știință și au mînuit sticle\* vor înțelege mai ușor ceea ce urmează.

## PROPOZIȚII

### PROPOZIȚIA I. TEOREMA I

*Razele de lumină care diferă prin culoare diferă și prin gradele de refrangibilitate.*

### Proba experimentală

*Experiența 1.* Am luat o bucată de hîrtie neagră, tare, lunguiață și mărginită de muchii paralele și am împărțit-o printr-o linie dreaptă perpendiculară de la un capăt la celălalt în două părți egale. Una dintre aceste părți am colorat-o în roșu, iar cealaltă în albastru. Hîrtia era foarte neagră, iar culorile vii și trase gros, astfel ca fenomenul să poată fi mai evident. Am privit această hîrtie printr-o prismă de sticlă, masivă, la care ambele fețe prin care trecea lumina spre ochi erau plane și bine șlefuite și făcînd între ele un unghi de aproximativ  $60^\circ$ , unghi pe care eu îl numesc unghiul de refracție al prisme. În timp ce priveam, țineam hîrtia și prisma în fața unei ferestre în așa fel că marginile hîrtiei erau paralele cu prisma și atît marginea, cît și prisma erau paralele cu orizontul, iar linia de secțiune de asemenea era paralelă cu el; lumina care cădea de la fereastră pe hîrtie făcea cu hîrtia un unghi egal cu unghiul făcut de aceeași

---

\* Newton se referă la mînuirea aparatelor optice cunoscute în timpul său : oglinzi, lentile, microscopae și telescoape.

hîrtie cu lumina reflectată la ochi. Dincolo de prismă, peretele camerei sub fereastră a fost acoperit cu draperie neagră, iar draperia cuprinsă în întuneric, astfel ca de la ea să nu se poată reflecta nici o rază de lumină care, trecînd pe la marginile bucății de hîrtie spre ochi, să se poată amesteca cu lumina bucății de hîrtie și să facă confuz fenomenul. Acestea fiind puse la punct, am găsit că, dacă unghiul de refracție al prisme este întors în sus, astfel ca bucata de hîrtie să poată apărea ridicată prin refracție, jumătatea albastră va apărea mai ridicată datorită refracției decît jumătatea roșie. Dar dacă unghiul de refracție al prisme este întors în jos, astfel ca bucata de hîrtie să apară deplasată în jos prin refracție, atunci jumătatea albastră va fi deplasată ceva mai jos decît jumătatea roșie. În consecință, în ambele cazuri, lumina care vine prin prismă la ochi de la jumătatea albastră a hîrtiei suferă în același condiții o refracție mai mare decît lumina care vine de la jumătatea roșie, și, prin urmare, este mai refrangibilă.

*Explicație.* În figura 11,  $MN$  reprezintă fereastra,  $DE$  bucata de hîrtie terminată cu marginile paralele  $DJ$  și  $HE$  și prin linia transversală  $FG$  ea este împărțită în două jumătăți, una  $DG$ , de un albastru intens, și alta  $FE$ , de un roșu intens.  $BACcab$  reprezintă prisma ale cărei plane de refracții  $ABba$  și  $ACca$  se întîlnesc în muchia unghiului de refracție  $Aa$ . Această muchie  $Aa$ , fiind situată în sus, este paralelă atît cu orizontul, cît și cu muchiile paralele ale hîrtiei  $DJ$  și  $HE$ , iar linia transversală  $FG$  este perpendiculară pe planul ferestrei; *de* reprezintă imaginea hîrtiei văzută prin refracția de sus, în așa fel încît jumătatea albastră  $DG$  e ridicată mai sus spre  $dg$  decît jumătatea roșie  $FE$  spre  $fe$  și, prin urmare, suferă o refracție mai mare. Dacă muchia unghiului de refracție este întoarsă în jos, imaginea hîrtiei va fi refractată în jos, presupunem spre  $\delta\epsilon$ , iar jumătatea albastră va fi refractată mai jos spre  $\delta\gamma$  decît este jumătatea roșie spre  $\phi\epsilon$ .

*Experiența 2.* În jurul hîrtiei sus-amintită cu cele două jumătăți colorate în roșu și albastru și care era asemenea unui carton subțire tare, am înfășurat de cîteva ori un fir subțire de mătase foarte neagră, în așa fel ca diferitele părți ale firului să poată apărea pe culori asemenea unor linii negre trasate deasupra lor ca niște umbre lungi și subțiri proiectate pe ele. Aș fi putut trasa linii negre cu o peniță, dar firele erau mai subțiri și mai bine definite. Hîrtia astfel colorată și liniată am așezat-o pe un perete perpendicular pe orizont, astfel ca una dintre culori să fie la dreapta, iar cealaltă la stînga. Imediat în fața hîrtiei, la marginea de jos a culorilor, am așezat o



lumânare ca să lumineze intens hîrtia, deoarece experiența s-a făcut noaptea. Flacăra lumînării ajungea pînă la marginea de jos a hîrtiei sau cu ceva mai sus. Apoi, la o distanță de șase picioare\* și unul sau doi inch\*\* de hîrtie, am așezat pe podea o lentilă de sticlă de patru inch și un sfert, care putea aduna razele venind din diferite puncte ale

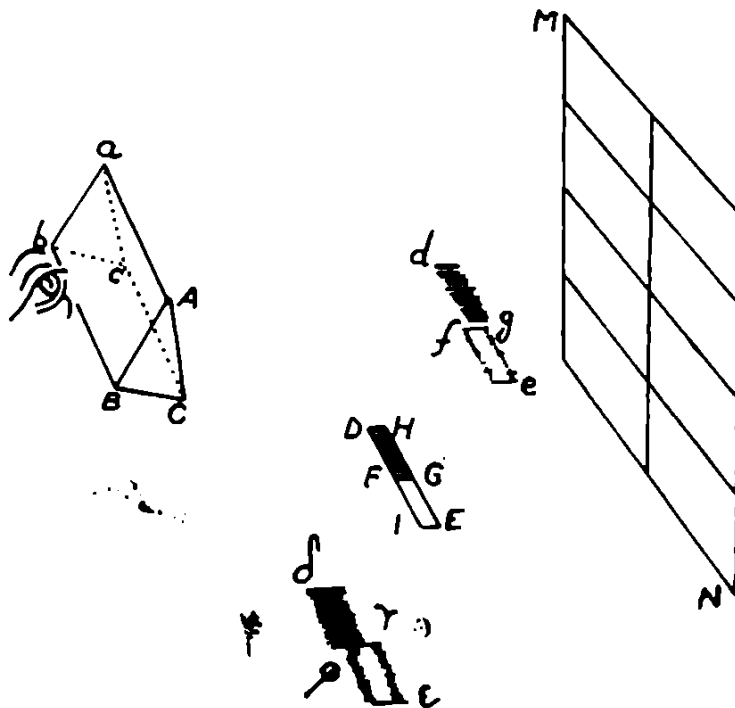


Fig. 11

hîrtiei și făcea să conveargă spre tot atîtea puncte și la aceeași distanță de șase picioare și unul sau doi inch de cealaltă parte a lentilei și să formeze imaginea hîrtiei colorate pe o hîrtie albă așezată acolo, la fel cum o lentilă montată în orificiul unui oblon proiectează imaginile obiectelor exterioare pe o bucată de hîrtie într-o cameră obscură. Hîrtia albă sus-amintită, așezată perpendicular pe orizont și pe razele care vin de la lentilă și cad pe ea, uneori am apropiat-o de lentilă, alteori am îndepărtat-o de ea, ca să găsesc locurile în care imaginile părților albastru și roșu ale hîrtiei colorate apar mai dis-

\* Unitate de măsură pentru lungime egală cu 0,3048 m; se mai utilizează în Anglia și America.

\*\* Unitate veche de măsură pentru lungime egală cu 25,4 mm; mai poartă denumirea de țol sau deget.

tinct. Am găsit ușor aceste locuri cu ajutorul imaginilor liniilor negre, pe care le-am realizat înfășurând mătasea în jurul hîrtiei. Căci imaginile acestor linii fine și subțiri (care din cauza întunecimii apăreau ca umbre pe culori) erau confuze și abia vizibile atunci cînd culorile de fiecare parte a liniilor nu aveau margini distincte. Observînd cu multă atenție locurile în care imaginile jumătăților roșii și albastre ale hîrtiei colorate apăreau mai distincte, am găsit că, acolo unde jumătatea roșie a hîrtiei apărea clară, jumătatea albastră apărea confuză, astfel că liniile negre trasate pe ea nu puteau fi văzute clar, și, dimpotrivă, acolo unde jumătatea albastră apărea mai clară, jumătatea roșie apărea mai confuză, astfel că liniile negre pe ea erau abia vizibile. Între cele două locuri în care imaginile apăreau distincte era o distanță de un inch și jumătate, distanța hîrtiei albe de la lentilă, cînd imaginea jumătății roșii a hîrtiei colorate apărea cel mai clar, fiind mai mare cu un inch și jumătate decît distanța pînă la lentilă a aceleiași hîrtii albe, cînd imaginea jumătății albastre apărea cel mai clar. Prin urmare, la incidențe egale ale culorilor albastră și roșie pe lentilă, albastrul era refractat mai mult de lentilă decît roșul, astfel încît convergea cu un inch și jumătate mai mult și de aceea este mai refrangibil.

*Explicație.* În figura 12,  $DE$  reprezintă hîrtia colorată,  $DG$  jumătatea albastră,  $FE$  jumătatea roșie,  $MN$  lentila,  $HI$  hîrtia albă în locul în care jumătatea roșie cu liniile ei negre apare clar și  $hi$  aceeași hîrtie în locul în care jumătatea albastră apare clar. Poziția  $hi$  era mai aproape de lentila  $MN$  decît poziția  $HI$  cu un inch și jumătate.

*Observație.* Același lucru se întîmplă chiar și atunci cînd anumite condiții nu mai sînt aceleași ca în prima experiență, cînd prisma și hîrtia sînt puțin înclinate față de orizont și de asemenea în ambele cînd liniile colorate sînt trasate pe hîrtia foarte neagră. Dar în descrierea acestor experiențe am înfățișat condițiile în care un fenomen sau poate fi redat mai evident, sau poate fi experimentat mai ușor de către un începător ori în care eu însumi l-am experimentat. Același lucru l-am făcut adesea în experiențele următoare; relativ la toate acestea este de ajuns această singură remarcă. Din aceste experiențe nu rezultă că toată lumina din albastru e mai refrangibilă decît toată lumina din roșu, căci ambele lumini sînt amestecuri ale razelor de refrangibilitate diferită, astfel că în roșu sînt unele raze nu mai puțin refrangibile decît acelea din albastru, iar în albastru unele raze nu sînt cu mult mai refrangibile decît cele din roșu, dar

aceste raze în raport cu întreaga lumină sînt totuși puține și pot doar diminua reușita experienței, dar nu sînt capabile s-o distrugă. Într-adevăr, dacă culorile roșu și albastru ar fi mai șterse și mai slabe, distanța dintre imagini ar fi mai mică decît un inch și jumătate; dacă ele ar fi mai vii și mai pline, această distanță ar fi mai mare,

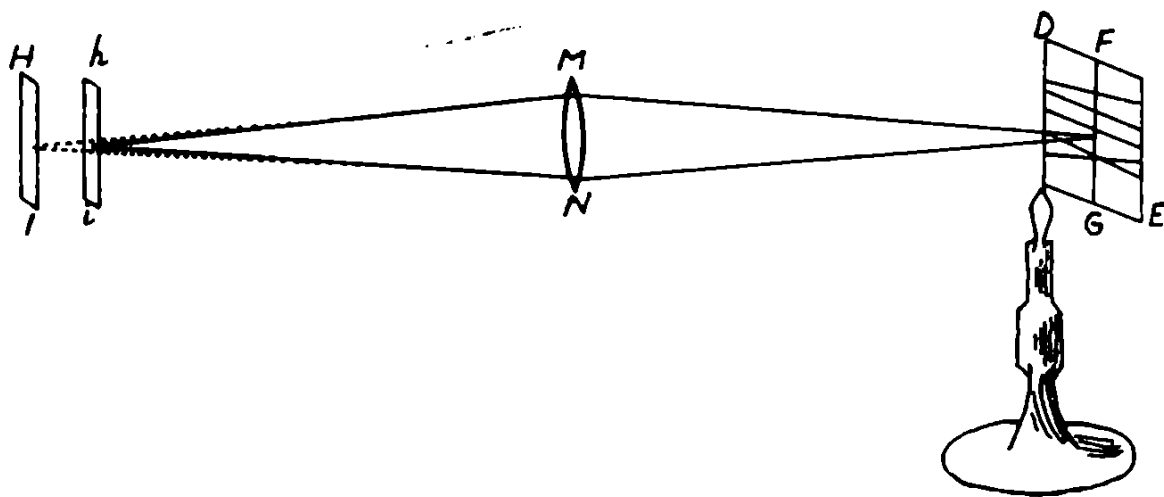


Fig. 12

după cum se va vedea mai departe. Aceste experiențe pot fi suficiente pentru culorile corpurilor naturale. În ceea ce privește culorile formate din refracția prismelor, această propoziție se va lămuri prin experiențele din propoziția următoare.

## PROPOZIȚIA II. TEOREMA II

*Lumina solară constă din raze cu refranșibilitate diferită.*

### Proba experimentală

*Experiența 3.* Într-o cameră foarte întunecoasă, în dreptul unui orificiu rotund făcut în oblonul unei ferestre și larg de aproximativ o treime de inch, am așezat o prismă de sticlă prin care fasciculul de lumină solară să poată fi refractat mai mult spre peretele opus al camerei și acolo să formeze o imagine colorată a Soarelui. Axa prisme (adică linia care trece prin mijlocul prisme de la un capăt al ei la celălalt paralel cu muchia unghiului de refracție) era în această experiență, ca și în cele următoare, perpendiculară pe razele incidente.

Am rotit încet prisma în jurul axei și am văzut că lumina refractată pe perete sau imaginea colorată a Soarelui la început coboară și apoi urcă. Între coborîre și ridicare, cînd imaginea părea a fi staționară, am oprit prisma și am fixat-o într-o poziție fixă. Într-adevăr, în această poziție, refracțiile luminii la cele două fețe ale unghiului de refracție, adică la intrarea razelor în prismă și la ieșirea lor, erau egale între ele\*. De asemenea, în alte experiențe, de cîte ori am dorit ca refracțiile la ambele fețe ale prisme să fie egale între ele, am notat locul în care imaginea Soarelui formată prin refracția luminii rămînea nemișcată între două mișcări opuse, între perioadele ei de avansare și de retragere; cînd imaginea ajungea în acest loc, fixam prisma. În această poziție, considerată ca fiind cea mai comodă, trebuie înțeles că sînt așezate toate prismele în experiențele care urmează, în afară de cazul cînd este descrisă o altă poziție. Prin urmare, prisma fiind așezată în această poziție, am lăsat să cadă lumina refractată perpendicular pe o bucată de hîrtie albă de pe peretele opus al camerei și am observat figura și dimensiunile imaginii solare formate pe hîrtie de această lumină. Această imagine era lunguiată, dar nu ovală, ci terminată în două laturi rectilinii și paralele și două capete semicirculare. Marginile ei erau destul de clar delimitate, dar la capete erau foarte confuze și neclare, lumina scăzînd și dispărînd treptat. Lățimea imaginii corespundea diametrului Soarelui și era de aproximativ doi inch și o optime, inclusiv penumbra. Imaginea era situată la o distanță de optsprezece picioare și jumătate de prismă, iar la această distanță lățimea, dacă se micșora prin diametrul orificiului din oblonul ferestrei, adică cu un sfert de inch, subîntindea la prismă un unghi de aproximativ o jumătate de grad, care este diametrul aparent al Soarelui. Lungimea imaginii era însă aproximativ de zece inch și un sfert, iar lungimea laturilor rectilinii de aproximativ opt inch ; unghiul de refracție al prisme care dădea o lungime așa de mare era de  $64^\circ$ . La un unghi mai mic, lungimea imaginii era mai mică, lățimea rămînînd aceeași. Dacă prisma se învîrtea în jurul axei sale în partea care face ca razele să iasă mai oblic din a doua suprafață de refracție a prisme, imaginea devenea îndată mai lungă cu un inch sau cu doi ori chiar mai mult ; dacă prisma se învîrtea în partea opusă, astfel ca razele să cadă mai oblic pe prima suprafață de refracție, imaginea devenea de îndată mai scurtă cu unul sau cu doi inch. Prin urmare, în efectuarea acestei experiențe m-am îngrijit

---

\* Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea I, secț. I, §10 ; secț. II, §29 ; secț. III, prop. 25.

cît se poate de mult ca să așez prisma, după regula menționată mai sus într-o astfel de poziție, încît refracțiile razelor la emergența din prismă să poată fi egală cu acelea de la incidența pe ea\*. Prisma cu care am lucrat avea cîteva vine\*\* mergînd de la un capăt la altul în sticlă, care dispersau o parte din lumina solară în mod neregulat. dar nu aveau nici un efect asupra creșterii lungimii spectrului colorat. Într-adevăr, eu am efectuat aceeași experiență cu același succes și cu alte prisme. În special cu o prismă care era lipsită de orice vine și al cărei unghi de refracție era de  $62\frac{1}{2}$  grade, am găsit lungimea imaginii de  $9\frac{3}{4}$  sau de 10 inch la distanța de  $18\frac{1}{2}$  picioare de prismă, lărgimea orificiului în oblonul ferestrei fiind de  $\frac{1}{4}$  inch, ca mai înainte. Fiindcă e ușor să faci o greșeală în așezarea prisme în poziția potrivită, am repetat experiența de patru sau de cinci ori și totdeauna am găsit că lungimea imaginii era aceea pe care am indicat-o mai sus. Cu o altă prismă de sticlă mai pură și mai bine șlefuită, care părea lipsită de vine și al cărei unghi de refracție era de  $63\frac{1}{2}$  grade, lungimea imaginii la aceeași distanță de  $18\frac{1}{2}$  picioare era de asemenea aproximativ de 10, sau  $10\frac{1}{8}$  inch. În afară de aceste măsurători, lumina norilor părea cam cu  $\frac{1}{4}$  sau  $\frac{1}{3}$  inch la fiecare capăt al spectrului a fi puțin colorată în roșu și violet, dar atît de slab încît am presupus că această colorație poate proveni în întregime sau în mare parte de la unele raze ale spectrului dispersate neregulat de inegalități în substanța și șlefuirea sticlei și de aceea nu le-am inclus în aceste măsurători. Mărimea diferită a orificiului din oblonul ferestrei, diferitele grosimi ale prisme pe unde treceau razele și diferitele înclinații ale prisme față de orizont nu schimbau în mod sensibil lungimea imaginii. Nici materialul diferit al prismelor nu producea vreo schimbare, deoarece, într-un vas făcut din plăci de sticlă șlefuită laolaltă în formă

---

\* Adică unghiurile de incidență și de emergență să fie egale.

\*\* Neuniformități în interiorul prisme, defecte de turnare a sticlei.

de prismă și umplut cu apă, experiența a reușit la fel în ceea ce privește mărimea refracției\*. Trebuie să observăm mai departe că razele merg în linie dreaptă de la prismă spre imagine și de aceea la ieșirea lor din prismă aveau aceeași înclinație una față de alta, de unde rezulta lungimea imaginii, adică înclinația mai mare de doi inch și jumătate. Totuși conform legilor opticii obișnuit admise, nu e posibil să fie atât de mult înclinate una față de cealaltă\*\*. Într-adevăr fie  $EG$

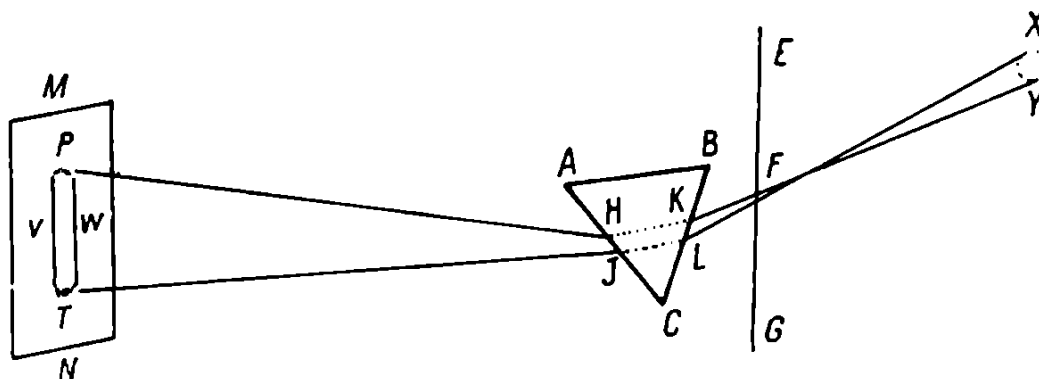


Fig. 13

(fig. 13) oblonul ferestrei,  $F$  orificiul făcut în el prin care un fascicul de lumină solară intra în camera obscură și  $ABC$  un plan triunghiular imaginar prin care se presupune că prisma e tăiată transversal de către mijlocul luminii. Sau, dacă doriți, fie  $ABC$  prisma însăși îndreptată direct cu capătul ei mai apropiat spre ochiul observatorului, fie  $XY$  Soarele,  $MN$  hîrtia pe care se proiectează imaginea solară sau spectrul și  $PT$  imaginea însăși, ale cărei margini spre  $v$  și  $w$  sînt rectilinii și paralele, iar capetele spre  $P$  și  $T$  semicirculare.  $YKHP$  și  $XLJT$  sînt două raze, dintre care prima vine de la partea inferioară a Soarelui spre partea superioară a imaginii și e refractată în prismă în  $K$  și  $H$ , iar a doua vine de la partea superioară a Soarelui spre partea inferioară a imaginii și e refractată în  $L$  și  $J$ . Deoarece refracțiile la ambele fețe ale prisme sînt egale între ele, adică refracția în  $K$  e egală cu refracția din  $J$  și refracția în  $L$  este egală cu refracția în  $H$ , astfel că refracțiile razelor incidente în  $K$  și  $L$  luate împreună sînt egale cu

\* Newton a întrebuințat la experiențele sale de dispersie prisme cu indice de refracție mare și a ajuns la convingerea că puterea lor de refracție și dispersie nu depinde de substanța din care sînt confecționate. Această convingere și-a menținut-o chiar și după ce fizicianul Lucas din Liège i-a atras atenția că experiențele sale în alte prisme nu confirmă aceste concluzii. Datorită acestei greșeli Newton a pierdut ocazia de a descoperi acromatismul.

\*\* Vezi Newton, *Lectioes opticae*, partea I, secți. I., § 5.



refracțiile razelor emergente în  $H$  și  $J$  luate împreună prin adăugarea unor lucruri egale la alte lucruri egale, rezultă că refracțiile în  $K$  și  $M$  luate împreună sînt egale cu refracțiile în  $J$  și  $L$  luate împreună și, prin urmare, cele două raze, fiind egal refractate, au după refracție aceeași înclinație între ele pe care au avut-o și înainte, adică înclinația de jumătate de grad corespunzătoare diametrului Soarelui. Căci aceasta era înclinația razelor între ele înainte de refracție. Atunci lungimea imaginii  $PT$  după legile obișnuite ale opticii ar subînținde un unghi de o jumătate de grad în prismă și, în consecință egal cu, lățimea  $vw$ , prin urmare imaginea ar fi rotundă. Așa s-ar întîmpla dacă cele două raze  $XLJT$ ,  $YKHP$  și toate celelalte care formează imaginea  $Pw$  și  $Tw$ , ar fi la fel de refrangibile. Dar, cercetînd prin experiență și găsindu-se că imaginea nu e rotundă, ci aproximativ de cinci ori mai lungă decît lată, razele care merg spre capătul superior  $P$  al imaginii suferă refracția cea mai mare și trebuie să fie mai refrangibile decît acelea care merg spre capătul inferior  $T$  numai dacă inegalitatea refracției nu e accidentală.

Imaginea sau spectrul  $PT$  era colorat, fiind roșu la capătul  $T$  cel mai puțin refractat, violet la capătul  $P$  cel mai refractat și galben-verzui și albastru în locurile intermediare. Aceasta corespunde propoziției întîii, că lumina care diferă în culoare diferă de asemenea în refrangibilitate. Lungimea imaginii în experiențele precedente am măsurat-o de la roșul extrem cel mai slab de la un capăt pînă la albastrul extrem cel mai slab la celălalt capăt, cu excepția numai a unei penumbre mici, a cărei lățime rareori depășește un sfert de inch, după cum s-a spus mai sus.

*Experiența 4.* În fasciculul solar propagat în cameră prin orificiul din oblonul ferestrei, la o distanță de cîteva picioare de orificiu, am ținut prisma într-o poziție astfel ca axa să poată fi perpendiculară la acest fascicul. Apoi am privit prin prismă spre orificiu și am învîrtit prisma într-o parte și într-alta în jurul axei sale ca să fac imaginea orificiului ascendentă și descendentă pînă cînd, între două mișcări opuse, părea staționară; atunci am oprit prisma, astfel încît refracțiile din ambele părți ale unghiului de refracție să poată fi egale între ele, ca în experiența precedentă. În această poziție a prisme, privind prin ea orificiul amintit, am observat că lungimea imaginii sale refractate este de cîteva ori mai mare decît lățimea sa și că partea cea mai refractată apare violetă, iar cea mai puțin refractată roșie și partea mijlocie, pe rînd, albastră, verde, galbenă. Același lucru se întîmpla cînd scoteam prisma din lumina solară și priveam

prin ea spre orificiul luminat de lumina norilor de afară. Totuși, dacă refracția s-ar fi făcut regulat conform unui anumit raport al sinusurilor de incidență și de refracție, după cum se presupune în mod obișnuit, imaginea refractată ar fi trebuit să apară rotundă.

Astfel, din aceste două experiențe reiese că la incidențe egale există o considerabilă inegalitate a refracțiilor. De unde rezultă această inegalitate: din faptul că unele raze incidente sînt refractate mai mult, iar altele mai puțin în mod constant sau întîmplător, sau că una și aceeași rază prin refracție este deviată, sfărîmată, dilatăată ca și cînd ar fi scindată și împrăștiată\* în mai multe raze divergente, după cum presupune *Grimaldo*\*\*, lucrul acesta nu apare însă din experiențele de față, dar va apărea din cea care urmează.

*Experiența 5.* Considerînd deci că, dacă în experiența a treia imaginea Soarelui putea lua o formă lunguiață fie prin dilatarea fiecărei raze, fie prin orice altă inegalitate întîmplătoare a refracției, aceeași imagine lunguiață va fi formată de o a doua refracție laterală mai largă, printr-o dilatare asemănătoare a razelor, sau de o altă inegalitate întîmplătoare a refracțiilor laterale, am încercat care vor fi efectele unei a doua refracții de acest fel. În acest scop am folosit același aranjament din experiența a treia și apoi am așezat o a doua prismă imediat după prisma în poziție crucișă față de ea, astfel ca să poată refracta din nou fasciculul de lumină solară care vine la ea prin prima prismă. În prima prismă acest fascicul era refractat în sus, iar în a doua lateral. Am constatat că prin refracția prisme a doua lățimea imaginii nu a crescut, dar că partea ei superioară, care în prima prismă a suferit o refracție mai mare și era violetă și albastră, în a doua prismă a suferit din nou o refracție mai mare decît partea ei inferioară, care era roșie și galbenă, și aceasta fără vreo altă dilatare a imaginii în lățime.

*Explicație.* Fie *S* (fig. 14, 15) Soarele, *F* orificiul din fereastră, *ABC* întîia prismă, *DH* prisma a doua, *Y* imaginea rotundă a Soarelui făcută de un fascicul de lumină directă cînd prisma e îndepărtată, *PT* imaginea lunguiață a Soarelui produsă de fasciculul ce trece numai prin prisma întîi cînd prisma a doua e îndepărtată și *pt* imaginea produsă de refracțiile încrucișate ale ambelor prisme. Dacă razele care merg spre diferitele puncte ale imaginii rotunde *Y* ar fi

\* Este vorba de deviație, dispersie și alungire.

\*\* *Francesco Maria Grimaldi, Physico — mathesis de luminæ, coloribus et iride, 1665.*

dilatate și împrăștiate prin refracția primei prisme, astfel ca să nu mai meargă în linii izolate spre puncte izolate, ci fiecare rază să fie scindată, împrăștiată și transformată din rază liniară într-o supra-

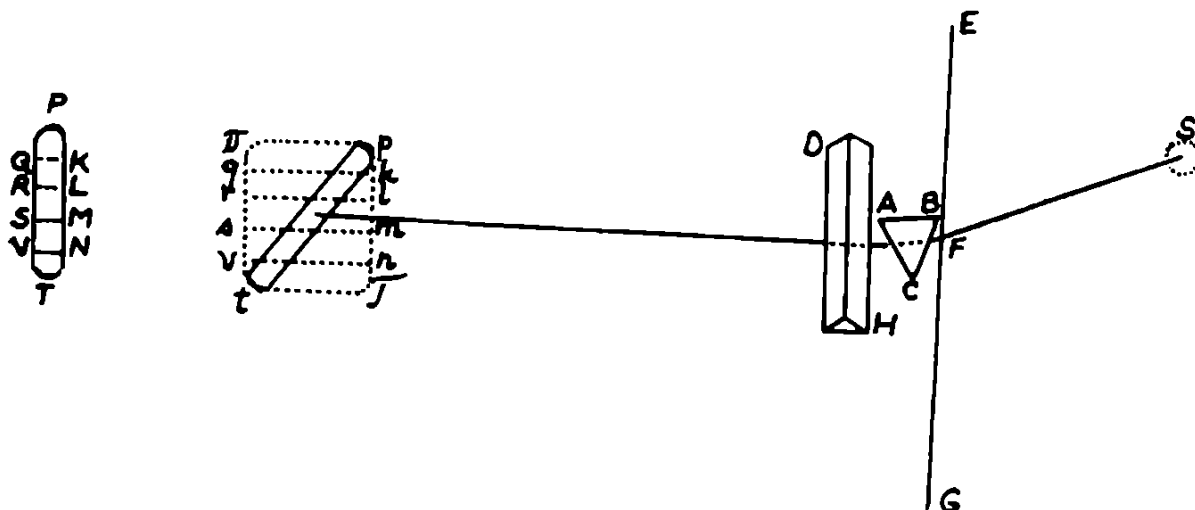


Fig. 14

față de raze care diverg dintr-un punct de refracție și se află în planul unghiurilor de incidență și refracție, ele vor merge în aceste planuri spre liniile ce se întind aproape de la un capăt al imaginii  $PT$  la celălalt

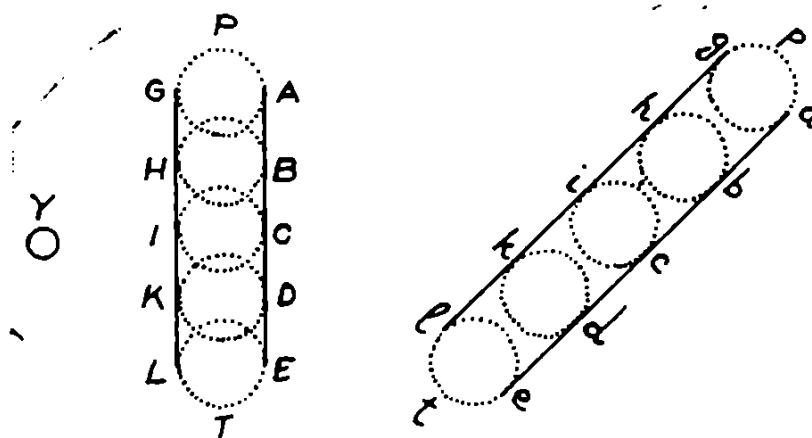


Fig. 15

și de aceea imaginea ar ajunge să fie alungită; acele raze și diferitele lor părți, mergând spre diferitele părți ale imaginii  $PT$ , ar trebui să fie iarăși dilatate și împrăștiate lateral de refracția transversală a prisme a doua, astfel ca să formeze o imagine pătrată, așa cum e repre-

zentată prin  $\pi\tau$ . Pentru o mai bună înțelegere a acestora, să dividem imaginea  $PT$  în cinci părți egale  $PQK$ ,  $KQRL$ ,  $LRS\dot{M}$ ,  $MSVN$ ,  $NVT$ . Prin aceeași neregularitate prin care lumina circulară  $Y$  este dilatată prin refracția prismeii întâi și proiectată sub forma unei imagini lungi  $PT$ , lumina  $PQK$ , care ocupă un spațiu de aceeași lungime și lățime ca și lumina  $Y$ , ar trebui să fie dilatată prin refracția în prisma a doua și proiectată sub forma unei imagini alungite  $\pi qkp$ , iar lumina  $KQRL$  în imaginea alungită  $kqrl$  și luminile  $LRS\dot{M}$ ,  $MSVN$ ,  $NVT$  sub forma a tot atitor imagini alungite  $lrsm$ ,  $msvn$ ,  $nv\tau$ . Toate aceste imagini alungite ar compune cele patru imagini pătrate  $\pi\tau$ . Acest lucru s-ar întâmpla dacă fiecare rază ar fi dilatată prin refracție și împărțită în suprafețele triunghiulare ale razelor ce diverg din punctul de refracție. A doua refracție ar împrăștiya razele tot atât de mult într-o parte cât și prima în cealaltă parte și astfel ar dilata imaginea în lățime tot atât de mult ca prima în lungime. Aceiași lucru ar trebui să se întâmple dacă unele raze ar fi întâmplător refractate mai mult decât altele. Dar lucrurile stau altfel. Imaginea  $PT$  nu a fost făcută mai largă prin refracția prismeii a doua, ci a devenit numai oblică, după cum e reprezentată prin  $pt$ , capătul ei superior  $P$  fiind deplasat prin refracție la o distanță mai mare decât capătul ei inferior  $T$ . În acest fel, lumina care mergea spre capătul superior al imaginii  $P$  era (la incidente egale) refractată mai mult în prisma a doua decât lumina care se îndrepta spre capătul inferior  $T$ , adică albastrul și violetul mai mult decât roșul și galbenul, prin urmare era mai refrangibilă. Aceeași lumină a fost deplasată prin refracția în prisma întâi mai departe de locul  $Y$  spre care tindea înainte de refracție, prin urmare a suferit atât în prisma întâi, cât și în a doua o refracție mai mare decât restul luminii și în consecință, a fost mai refrangibilă decât restul, chiar înainte de a cădea pe prisma întâia.

Altă dată am așezat o a treia prismă după a doua și uneori o a patra după a treia, prin care toate imaginile să poată fi adesea refractate lateral; dar razele care au fost mai mult refractate decât restul în prima prismă au fost de asemenea mai refractate în tot restul, și aceasta fără nici o dilatare laterală a imaginii; prin urmare, acele raze, din cauza permanenței unei refracții mai mari, au fost considerate pe bună dreptate mai refrangibile.

Dar pentru ca scopul acestei experiențe să apară mai clar, să considerăm că razele egal refrangibile cad pe un cerc care corespunde discului solar. Într-adevăr, lucrul acesta s-a demonstrat în experi-

ența a treia. Printr-un cerc eu nu înțeleg aici un cerc geometric perfect, ci o figură circulară a cărei lungime este egală cu lățimea și care ca aspect poate părea circulară. Fie deci  $AG$  (fig. 15) cercul pe care toate razele cele mai refrangibile propagate de la întregul disc solar l-ar lumina și l-ar forma pe peretele opus dacă ar fi singure,  $EL$  cercul pe care toate razele mai puțin refrangibile l-ar lumina și l-ar proiecta în același fel dacă ar fi singure,  $BH$ ,  $CJ$ ,  $DK$  cercurile pe care tot atâtea feluri de raze intermediare le-ar proiecta succesiv pe perete dacă fiecare în parte ar veni succesiv de la Soare, restul fiind întotdeauna interceptate; să considerăm că acolo există alte nenumărate cercuri intermediare, pe care alte nenumărate feluri de raze le-ar proiecta succesiv pe perete dacă Soarele ar emite pe rând fiecare fel în parte. Văzînd că Soarele emite toate aceste feluri simultan, ele trebuie toate împreună să lumineze și să proiecteze nenumărate cercuri egale, care toate, fiind așezate după gradul de refrangibilitate într-o serie continuă, compun spectrul lunguiet  $PT$  pe care l-am descris în experiența a treia. Dacă însă imaginea circulară  $Y$  a Soarelui (fig. 15) formată de un fascicul de lumină nerefractată, printr-o dilatare a diverselor raze sau printr-o altă neregularitate în refracția prismei întii, a fost transformată în spectrul lunguiet  $PT$ , atunci ar trebui ca fiecare cerc  $AG$ ,  $BH$ ,  $CJ$  etc. din acest spectru, prin refracția încrucișată din prisma a doua care dilată sau împrăștie într-un fel oarecare razele, să fie în același fel proiectat sau transformat într-o figură lunguiată și în acest fel lățimea imaginii  $PT$  va fi acum tot atît de mult mărită cît era lungimea imaginii  $Y$  înainte de refracția prismei întii; astfel prin refracția celor două prisme împreună s-ar forma o figură pătrată  $p \propto t \propto$  la fel ca cea pe care am descris-o mai sus. Prin urmare, fiindcă lățimea spectrului  $PT$  nu a crescut prin refracția laterală, este sigur că razele nu au fost scindate, dilatate sau în alt fel împrăștiate neregulat prin refracție, ci că fiecare cerc este transportat printr-o refracție regulată și uniformă în alt loc, ca cercul  $AG$  prin refracția cea mai mare în poziția  $ag$ , cercul  $BH$  printr-o refracție mai mică în poziția  $bh$ , cercul  $CJ$  printr-o refracție și mai mică în poziție  $ci$  și așa și restul; prin acest mijloc, un nou spectru  $pt$ , înclinat față de cel precedent  $PT$ , este format la fel din cercuri situate în linie dreaptă; aceste cercuri trebuie să fie de aceeași mărime cu primele, deoarece lărgimea spectrelor  $Y$ ,  $PT$  și  $pt$  la distanțe egale de prisme sînt egale.

Am considerat mai departe că prin lărgimea orificiului  $F$  prin care intră lumina în camera obscură se face o penumbră împrejurul

spectrului  $Y$  și că penumbra rămâne în partea rectilinie a spectrelor  $PT$  și  $pt$ . De aceea am așezat în fața orificiului o lentilă sau obiectivul unui telescop care poate proiecta imaginea Soarelui distinct în  $Y$  fără nici o penumbră și am găsit că penumbra părții rectilinii a spectrului lunguiet  $PT$  și  $pt$  era prin aceasta înlăturată, astfel că aceste margini apăreau tot atât de distinct ca și circumferința primei imagini  $Y$ . Așa se întâmpla dacă sticla prisme este lipsită de vine iar marginile sînt riguros plane și bine șlefuite fără acele nenumărate valuri și ondulații care rezultă de obicei din găurile produse de nisip și care n-au fost netezite destul prin șlefuire cu chit. Dacă sticla este bine șlefuită și lipsită de vine, însă marginile nu sînt viguros plane, ci puțin convexe, ceea ce se întâmplă frecvent, cele trei spectre  $Y$ ,  $PT$  și  $pt$  încă pot să nu aibă penumbre, dar nu la distanță egală de prisme. Din această lipsă de penumbre am aflat mai sigur că fiecare cerc a fost refractat conform unei legi foarte regulate, uniforme și constante. Într-adevăr, dacă ar exista oarecare neregularități în refracție, liniile drepte  $AE$  și  $GL$  pe care le ating toate cercurile din spectrul  $PT$  nu ar putea fi transformate prin refracție în liniile  $ae$  și  $gl$ , ajungînd să fie atât de distincte și de rectilinii cum erau înainte; ar apărea în aceste linii transportate unele penumbre, îndoituri sau ondulații sau alte perturbații sensibile, diferite de ceea ce s-a găsit prin experiență. Orice penumbră sau perturbație s-ar produce în cercuri prin refracția crucișă a prisme a doua, acea penumbră sau perturbație s-ar pune în evidență în liniile drepte  $ae$  și  $gl$  care ating cercurile. Prin urmare, deoarece nu există nici o astfel de penumbră sau perturbație în aceste linii drepte, nu pot să existe nici în cercuri. Deoarece distanța dintre aceste tangente sau lățimea spectrului nu a crescut prin refracție, diametrele cercurilor de asemenea nu au crescut. Fiindcă aceste tangente continuă a fi linii drepte fiecare cerc care în prisma întâi este mai mult sau mai puțin refractat este și în a doua refractat mai mult sau mai puțin, exact în același raport. Văzînd că toate aceste fapte continuă să se succedă în același fel cînd razele sînt din nou refractate lateral într-o a treia și a patra prismă, este evident că razele unuia și aceluiași cerc, după gradul lor de refrangibilitate, continuă să fie totdeauna uniforme și omogene între ele și că acelea ale diferitelor cercuri diferă după gradul de refrangibilitate, într-un raport anumit și constant. Aceasta este ceea ce voiam să demonstrez.

Mai există o circumstanță sau două a acestei experiențe prin care ea devine mai clară și mai convingătoare. Să așezăm prisma a doua  $DH$  (fig. 16) nu imediat după prima, ci la o oarecare distanță de ea, să presupunem la mijlocul distanței dintre ea și peretele pe care e proiectat spectrul alungit  $PT$ , astfel ca lumina de la prisma întâi să poată cădea pe ea sub forma unui spectru alungit  $\pi\tau$  paralel cu

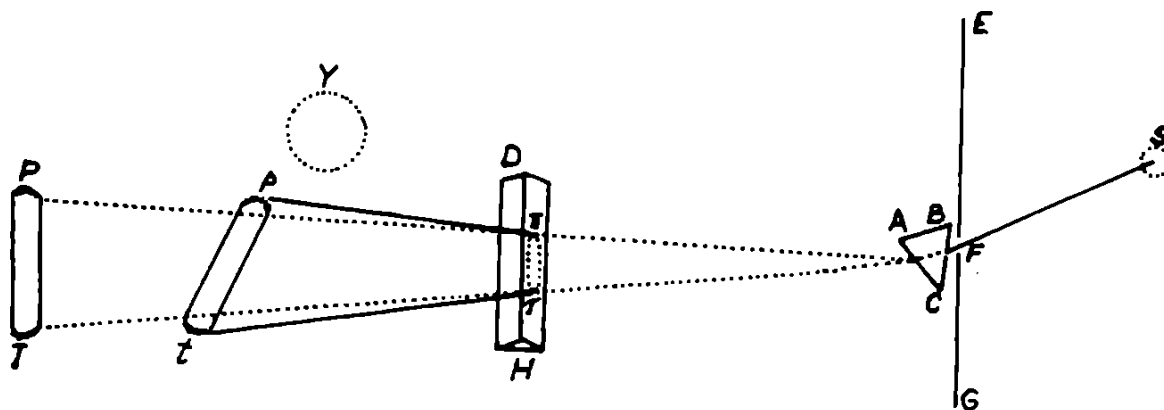


Fig. 16

prisma a doua și să fie refractată lateral că să formeze un spectru alungit  $pt$  pe perete. Veți găsi, ca și înainte, că spectrul  $pt$  este înclinat față de spectrul  $PT$  pe care-l formează prisma întâi singură fără a doua, capetele albastre  $P$  și  $p$  fiind mai îndepărtate unul de altul decât cele roșii  $T$  și  $t$  și, în consecință, că razele care merg spre capătul albastru  $\pi$  al imaginii  $\pi\tau$  și care, prin urmare, suferă refracția cea mai mare în prisma întâi sînt din nou refractate mai mult în prisma a doua decât restul.

Același lucru l-am încercat de asemenea lăsînd să pătrundă lumina solară într-o cameră întunecată prin două orificii mici rotunde  $F$  și  $\varphi$  (fig. 17), făcute în oblon, și cu două prisme paralele  $ABC$  și  $\alpha\beta\gamma$  așezate în fața acestor orificii (cîte una la fiecare), refractînd cele două fascicule de lumină spre peretele opus al camerei, în așa fel încît cele două imagini colorate  $PT$  și  $MN$  pe care le proiectează erau unite la capete și se situau pe o linie dreaptă, capătul roșu  $T$  al uneia atingînd capătul albastru  $M$  al celeilalte. Dacă aceste două fascicule refractate erau din nou refractate lateral de o a treia prismă  $DH$ , așezată în cruce față de primele două, și spectrele deplasate în acest fel într-o altă parte a peretelui camerei, de exemplu spectrul  $PT$  în  $pt$  și spectrul  $MN$  în  $mn$ , aceste spectre deplasate  $pt$  și  $mn$  nu se

vor găsi în linie dreaptă cu capetele lor învecinate ca înainte, ci separat unul de celălalt, ajungînd paralele, capătul albastru  $m$  al imaginii  $mn$  fiind deplasat printr-o refracție mai mare mai departe de la locul anterior  $MT$  decît capătul roșu  $t$  al celeilalte imagini  $pt$  de la același loc  $MT$ , ceea ce face ca propoziția să fie în afara oricărei discuții. Aceasta se întîmplă chiar dacă prisma a treia  $DH$  e așe-

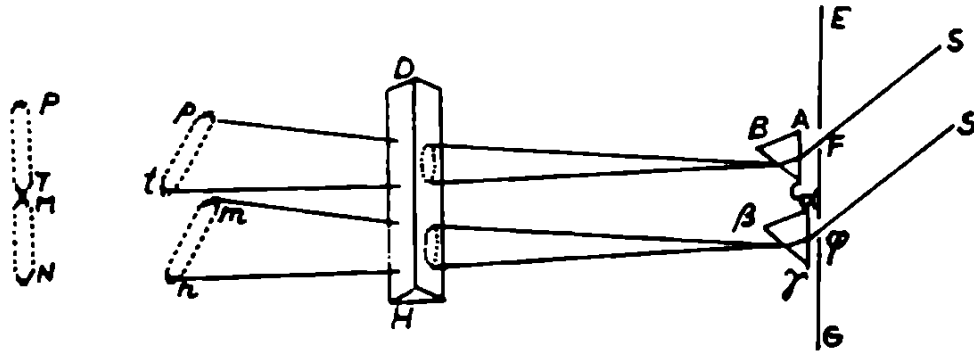


Fig. 17

zată imediat după primele două sau la o distanță mare de ele, astfel ca lumina refractată în primele două prisme să fie sau albă și circulară, sau colorată și lunguiață atunci cînd cade pe cea de-a treia.

*Experiența 6 \**. În mijlocul a două cartoane subțiri am făcut două orificii rotunde cu un diametru de o treime de inch, iar în oblonul ferestrei unul mai mare decît în carton, care să lase în camera întunecată un fascicul larg de lumină solară; am așezat o prismă în spatele oblonului prin care fasciculul să fie refractat spre peretele opus și imediat în spatele prisme am fixat unul dintre cartoane în așa fel încît mijlocul luminii refractate să poată trece prin orificiul făcut în el, iar restul să fie oprit de carton. Apoi la o distanță de aproximativ 12 picioare de primul carton am fixat celălalt carton

\* Newton în scrisoarea sa din 6 februarie 1672 către Oldenburg, secretarul Societății Regale din Londra în care descrie cercetările sale asupra dispersiei luminii albe, numește această experiență *experimentum crucis* (experiență crucială), considerînd-o drept experiență decisivă pentru teoria sa asupra compunerii luminii. Mai tirziu a abandonat această denumire convingîndu-se că și alte experiențe ale sale sînt tot atît de decisive pentru teoria sa. În *Optică* expresia *experimentum crucis* nu mai intervine, ea s-a păstrat însă în literatura științifică și cea didactică. În scrisoarea menționată, care s-a citit la ședința Societății Regale din 8 februarie 1672 și a apărut și în *Philosophical Transactions* 7 din același an, experiența nu e însoțită de schemă din care cauză la început fizicienii contemporani nu au înțeles-o (Huygens, Pardies).



în așa fel încît mijlocul luminii refractate care venea prin orificiul primului carton și cădea pe peretele opus să poată trece prin orificiul acestui al doilea carton, iar restul, fiind oprit de carton, să poată proiecta pe el spectrul colorat al Soarelui. Imediat înapoia acestui carton am fixat o altă prismă care să refracte lumina care venea prin orificiu. Apoi am revenit repede la prima prismă și, rotind-o

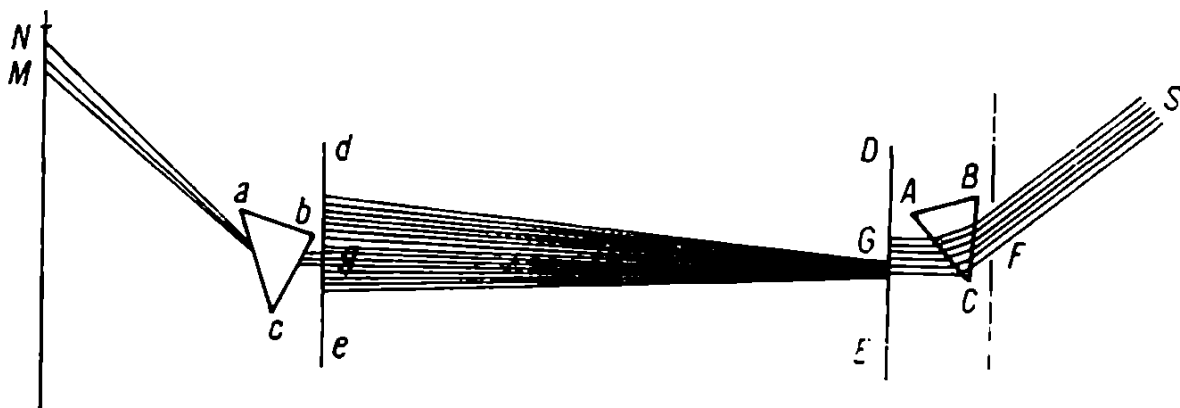


Fig. 18

încet într-o parte și în alta în jurul axei sale, am făcut ca imaginea care cădea pe cartonul al doilea să se deplaseze în sus și în jos pe acesta astfel încît toate părțile ei să poată trece succesiv prin orificiul cartonului și să cadă pe prisma din spatele lui. În același timp am notat pozițiile pe peretele opus spre care trecea această lumină după refracția ei în prisma a doua; prin diferența pozițiilor am găsit că lumina care era mai mult refractată în prisma întâi, mergînd spre capătul albastru al imaginii era de asemenea mai mult refractată în prisma a doua decît lumina care mergea spre capătul roșu al acestei imagini, ceea ce confirmă atît propoziția întîi, cît și pe a doua. Lucrul acesta se întîmpla fie că axele celor două prisme erau paralele, fie că erau înclinate una față de alta și față de orizont sub un unghi oarecare dat.

*Explicație.* Fie  $F$  (fig. 18) orificiul larg din oblonul ferestrei prin care Soarele luminează prisma întâi  $ABC$ ; lumina refractată cade pe mijlocul cartonului  $DE$ , iar patea de mijloc a acestei lumini pe orificiul  $G$  făcut în mijlocul cartonului. Să lăsăm să cadă această parte transmisă a luminii tot pe mijlocul cartonului al doilea de și acolo să apară o astfel de imagine lunguiată colorată a Soarelui ca cea descrisă în experiența a treia. Prin rotirea înceată a prisme  $ABC$  într-o parte și într-alta în jurul axei, această imagine se va

deplasa în sus și în jos pe cartonul *de* și în acest fel toate părțile ei de la un capăt și de la celălalt pot fi făcute să treacă succesiv prin orificiul *g* din mijlocul cartonului. În același timp să fixăm o altă prismă *abc* după orificiul *g*, pentru ca să refracte a doua oară lumina transmisă. Făcînd acest aranjament experimental, am notat pozițiile *M* și *N* de pe peretele opus pe care cădea lumina refractată și am constatat că, atunci cînd cele două cartoane și prisma a doua rămîneau nemișcate, aceste poziții se schimbau încontinuu prin rotirea primei prisme în jurul axei sale. Într-adevăr, cînd partea inferioară a luminii care cădea pe cartonul al doilea *de* trecea prin orificiul *g*, ea se îndrepta spre o poziție *M* de pe perete situată mai jos, iar cînd partea superioară a luminii trecea prin același orificiu *g*, ea se îndrepta spre o poziție *N* mai sus pe perete, iar cînd o parte intermediară a luminii trecea prin acest orificiu, ea se îndrepta spre o poziție oarecare de pe perete între *M* și *N*. Poziția neschimbată a orificiilor din cartoane face ca incidența razelor pe a doua prismă să fie aceeași în toate cazurile. Chiar și la această incidență comună unele raze erau mai mult refractate, iar altele mai puțin. Razele refractate mai mult în această prismă au fost cele care suferiseră o refracție mai mare în prima prismă și deviaseră mai mult într-o parte, prin urmare din cauza proprietății lor de a fi refractate mai mult au fost denumite pe bună dreptate mai refrangibile.

*Experiența 7.* În fața a două orificii făcute aproape unul lîngă altul în oblonul ferestrei mele am așezat două prisme, cîte una în dreptul fiecăruia, care puteau proiecta pe peretele opus \* (în felul descris în experiența a treia) două imagini lunguiețe colorate ale Soarelui. La o distanță mică de perete am așezat o bucată de hîrtie lungă și subțire cu marginile drepte și paralele și am aranjat prismele și hîrtia astfel încît culoarea roșie a imaginii să poată cădea direct pe o jumătate a hîrtiei, iar culoarea violetă a celeilalte imagini pe cealaltă jumătate a aceleiași hîrtii, astfel că hîrtia apărea în două culori, roșie și violetă, asemănător hîrtiei colorate în prima și a doua experiență. Apoi am acoperit cu o pînză neagră peretele din spatele hîrtiei, astfel ca nici o lumină să nu poată fi reflectată de el pentru a deranja experiența; privind hîrtia printr-o a treia prismă așezată paralel cu ea, am văzut că jumătatea luminată de lumina violetă era despărțită de cealaltă jumătate printr-o refracție mai mare, mai ales cînd mă îndepărtam mult de hîrtie. Într-adevăr, cînd o priveam prea de aproape, cele două jumătăți ale hîrtiei nu apăreau

---

\* Figura 17.

complet separate una de alta, ci în atingere la unul dintre unghiuri la fel ca hîrtia colorată din prima experiență. Aceasta se întîmpla și atunci cînd hîrtia era prea mare.

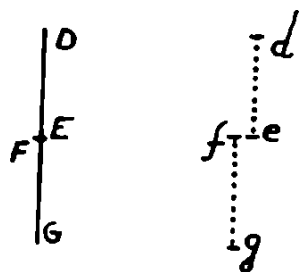


Fig. 19

Uneori în loc de hîrtie am folosit un fir alb și acesta apărea prin prismă divizat în două fire paralele, așa cum este reprezentat în figura 19, unde  $DG$  indică firul luminat cu lumină violetă de la  $D$  la  $E$  și cu lumină roșie de la  $F$  la  $G$ ,  $defg$  fiind părțile firului văzute prin refracție. Dacă o jumătate a firului este constant luminată cu lumină roșie, iar cealaltă jumătate este luminată succesiv cu toate culorile (ceea ce se poate face prin rotirea unei prisme în jurul axei sale în timp ce cealaltă

rămîne nemișcată), această a doua jumătate a firului privit prin prismă va apărea ca o linie dreaptă continuă cu prima jumătate cînd și aceasta e luminată cu roșu, începe să fie cîte puțin despărțită de ea cînd e luminată cu portocaliu, se îndepărtează și mai mult de ea cînd e luminată cu galben, încă și mai mult cînd e cu verde, cînd e cu albastru și mai mult și încă mai mult cînd e luminată cu indigo, și cel mai mult cînd este luminată cu violet-încis. Aceasta arată în mod evident că luminile de diferite culori sînt unele mai refrangibile decît altele în următoarea ordine a culorilor: roșu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo, violet-încis și astfel se confirmă la fel de bine atît prima, cît și a doua propoziție.

Am făcut de asemenea ca spectrele colorate  $PT$  (fig. 17) și  $MN$ , obținute în camera întunecată prin refracțiile celor două prisme, să fie situate în linie dreaptă cap la cap, așa cum s-a descris mai sus în experiența a cincea. Privindu-le printr-o a treia prismă paralelă cu lungimea lor, ele nu mai apăreau în linie dreaptă, ci rupte una de alta, așa cum sînt reprezentate în  $pt$  și  $mn$ , capătul violet  $m$  al spectrului  $mn$  fiind deplasat printr-o refracție mai departe de poziția sa anterioară  $MT$  printr-o refracție mai mare față de capătul roșu  $t$  al spectrului  $pt$ .

Mai departe am făcut ca cele două spectre  $PT$  (fig. 20) și  $MN$  să coincidă în ordinea inversă a culorilor, capătul roșu al uneia căzînd pe capătul violet al celeilalte, așa cum sînt reprezentate în figura alungită  $PTMN$ ; privindu-le apoi printr-o prismă  $DH$  ținută paralel cu lungimile lor, ele nu mai apăreau coincidente, ca atunci cînd le priveam cu ochiul liber, ci sub forma a două spectre distincte

$pt$  și  $mn$ , încrucișate unul cu celălalt la mijloc în forma literei  $X$ . Aceasta arată că roșul unui spectru și violetul celuilalt, care coincideau în  $PN$  și  $MT$ , fiind separate unul de celălalt printr-o refracție mai mare a violetului în  $p$  și  $m$  decât roșul în  $n$  și  $t$ , diferă în gradele de refrangibilitate.

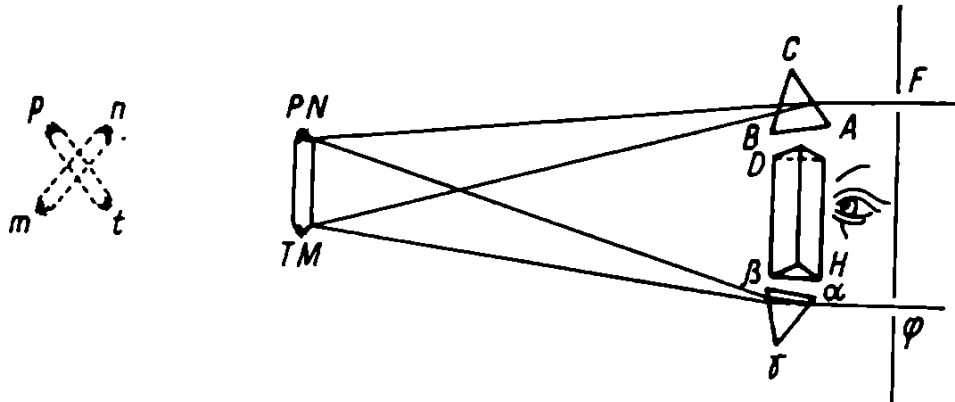


Fig. 20

De asemenea am luminat în întregime o foaie mică circulară de hîrtie albă cu luminile amestecate a două prisme și, cînd au fost luminate cu roșul unui spectru și violetul închis al celuilalt, astfel ca amestecul celor două culori să apară pretutindeni purpuriu, am privit hîrtia prima dată la o distanță mai mică și apoi la o distanță mai mare printr-o a treia prismă; cînd mă îndepărtam de hîrtie, imaginea refractată începea să se dividă din ce în ce mai mult din cauza refracției inegale a celor două culori amestecate și, în fine, să se separe în imagini distincte, una roșie și alta violetă, dintre care cea violetă era mai departe de hîrtie și, prin urmare, suferea o refracție mai mare. Cînd prisma de la fereastră care proiecta violetul pe hîrtie era îndepărtată, imaginea violetă dispărea, iar cînd cealaltă prismă era îndepărtată dispărea roșul, ceea ce arată că cele două imagini nu erau altceva decât luminile celor două prisme care s-au amestecat pe hîrtia roșie și care erau din nou separate din cauza refracției lor inegale în prisma a treia prin care era privită hîrtia. De asemenea se putea observa că, dacă una dintre prismele de la fereastră, de exemplu cea care proiecta violetul pe hîrtie, se rotea în jurul axei sale astfel ca toate culorile în ordinea următoare: violet, indigo, albastru, verde, galben, portocaliu, roșu să cadă succesiv de la prismă pe hîrtie, imaginea violetă își schimba culoarea în mod corespunzător, trecînd succesiv în indigo, albastru, verde, galben și roșu și, schimbînd-

du-și culoarea, se apropia din ce în ce mai mult de imaginea roșie formată de cealaltă prismă, pînă cînd, devenind și ea roșie, ambele imagini coincideau în întregime.

Am așezat de asemenea două discuri de hîrtie foarte aproape unul de celălalt : primul în lumina roșie a unei prisme, iar al doilea în lumina violetă a celeilalte. Fiecare disc avea un diametru de un inch, iar peretele din spatele lui era negru, astfel ca experiența să nu poată fi perturbată de nici o lumină venind de acolo. Discurile astfel luminate le-am privit printr-o prismă ținută în așa fel ca refracția să se facă spre discul roșu, iar atunci cînd mă îndepărtam de ele se apropiau din ce în ce mai mult unul de altul pînă coincideau ; după aceea, îndepărtîndu-mă și mai mult, ele se separau din nou în ordine inversă, violetul, printr-o refracție mai mare, căzînd dincolo de roșu.

*Experiența 8.* Vara, cînd razele solare sînt de obicei mai puternice, am așezat prisma la orificiul oblonului ferestrei, ca în experiența a treia, dar în așa fel ca axa ei să fie paralelă cu axa lumii \*, iar la peretele opus, în lumina solară refractată, am așezat o carte deschisă. Apoi îndepărtîndu-mă la o distanță de șase picioare și doi inch de carte, am așezat acolo lentila menționată mai sus, datorită căreia lumina reflectată de carte poate fi făcută să convergă și să se unească din nou la distanța de șase picioare și doi inch în spatele lentilei și acolo să formeze imaginea cărții pe o foaie de hîrtie albă, aproape la fel ca în experiența a doua. Fiind fixate cartea și lentila, am notat locul în care se găsea hîrtia în momentul cînd literele cărții, luminate de întreaga lumină roșie a imaginii solare ce cădea pe ele, se proiectau pe hîrtie mai distinct ; apoi am așteptat pînă cînd, datorită mișcării Soarelui și deci a mișcării imaginii sale pe carte, toate culorile de la roșu pînă la mijlocul albastrului au trecut peste litere, iar cînd aceste litere erau luminate de albastru, am notat iarăși locul hîrtiei în momentul cînd ele își proiectau imaginile mai clar pe ea. Am găsit că această ultimă poziție a hîrtiei era mai aproape de lentilă decît înția cu aproximativ doi inch și jumătate sau doi și trei sferturi. Prin urmare, lumina de la capătul violet al imaginii convergea și se aduna printr-o refracție mai mare decît lumina de la capătul roșu. În timp ce experimentam aceasta, camera era foarte întunecată. Într-adevăr, dacă culorile sînt slăbite sau întărite prin amestecul unei lumini accidentale, distanța dintre pozițiile hîrtiei

---

\* Diametrul care unește polii sferei cerești, perpendicular pe ecuatorul ceresc.

nu va fi prea mare. Această distanță în experiența a doua, în care s-au folosit culorile naturale ale corpurilor, era numai de un inch și jumătate din cauza imperfecției acestor culori. Aici la culorile prisme, care în mod evident sînt mai pline, mai intense și mai vii decît ale corpurilor naturale, distanța este de două degete și trei sferturi. Iar dacă culorile ar fi mai pline, nu mă îndoiesc că distanța ar fi cu mult mai mare. Lumina colorată a prisme, prin interferarea cercurilor descrise în figura a doua din experiența a cincea și datorită luminii norilor strălucitori din apropierea corpului solar care se amestecă cu aceste culori și de asemenea datorită luminii dispersate de inegalitățile suprafeței șlefuite a prisme, era atît de complexă, încît imaginile pe care culorile slabe și obscure, indigo și violet, le proiectau pe hîrtie nu erau suficient de distincte pentru a fi bine observate.

*Experiența 9.* Am așezat o prismă cu cele două unghiuri de la baze egale între ele și fiecare de cîte o jumătate de unghi drept, iar al treilea de un unghi drept, într-un fascicul de lumină solară care intra într-o cameră întunecată printr-un orificiu din oblonul ferestrei, ca în experiența a treia. Rotind încet prisma în jurul axei sale pînă cînd toată lumina care venea printr-unul din unghiuri și era refractată de ea începea să fie reflectată de baza sa și apoi ieșea din sticlă, am observat că razele care sufereau o refracție mai mare erau mai bine reflectate decît restul. Prin urmare, mi-am imaginat că acele raze ale luminii reflectate care erau cele mai refrangibile deveneau mai abundente în această lumină printr-o reflexie totală decît restul și că după aceea restul, de asemenea printr-o reflexie totală, devenea la fel de intens ca și acestea. Pentru a experimenta acest lucru am făcut să treacă lumina reflectată printr-o altă prismă și, fiind refractată de ea, să cadă apoi pe o bucată de hîrtie albă așezată la o oarecare distanță în spatele ei, iar acolo, datorită refracției, să formeze culorile obișnuite ale prisme. Apoi, rotind prima prismă în jurul axei sale ca mai sus, am observat că, atunci cînd razele care în această prismă au suferit cea mai mare refracție și apăreau în culorile albastru și violet, începeau să fie total reflectate, iar lumina albastră și violetă de pe hîrtie, care era refractată mai mult în prisma a doua, suferea o intensificare sensibilă față de cea a roșului și galbenului, care erau refractate mai puțin. După aceea, cînd restul luminii care era verde, galbenă și roșie începea să fie total reflectată în prima prismă, lumina acelor culori pe hîrtie ajungeau la o intensificare tot atît de mare ca și cea pe care au avut-o înainte violetul și albastrul. De aici rezultă că fasciculul de lumină reflectat de baza prisme, fiind intensificat

mai întâi de razele mai refrangibile și apoi prin cele mai puțin refrangibile, este format din raze cu refrangibilitate diferită. Nimeni nu se îndoia că toată lumina astfel reflectată este de aceeași natură cu lumina solară înainte de incidența ei la baza prisme, fiind în general admis că prin astfel de reflexii lumina nu suferă nici o alterare în modificările și proprietățile sale. Nu menționez aici nici o refracție

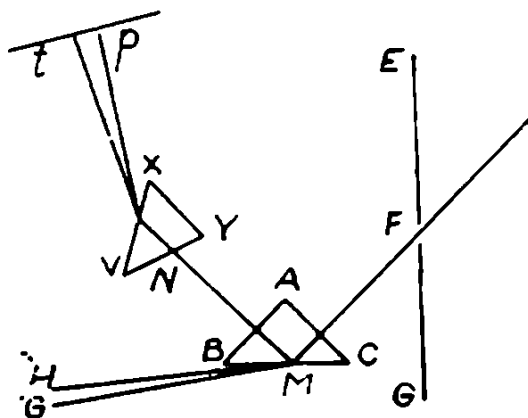


Fig. 21

făcută pe fețele laterale ale primei prisme, deoarece lumina intră perpendicular pe prima față și iese perpendicular pe a doua și deci nu suferă nici o refracție. Atunci lumina solară incidentă fiind de același gen și constituție cu lumina sa emergentă, iar ultima fiind compusă din raze de refrangibilitate diferită, prima trebuie să fie compusă în același fel.

*Explicație.* În figura 21,  $ABC$  este prisma întâi,  $BC$  baza ei,  $B$  și  $C$  unghiurile ei egale de la bază, fiecare de câte 45 de grade,  $A$  vârful ei rectaunghiular,  $FM$  un fascicul de lumină solară care intră în camera întunecată printr-un orificiu  $F$  larg de o treime de inch,  $M$  incidența de la baza prisme,  $MG$  o rază mai puțin refractată,  $MH$  o rază refractată mai mult,  $MN$  fasciculul de lumină reflectat de bază,  $VXY$  prisma a doua prin care este refractat fasciculul care trece prin ea,  $Nt$  lumina cea mai puțin refractată a acestui fascicul și  $Np$  partea lui cea mai mult refractată. Când prisma întâi  $ABC$  se învîrtește în jurul axei sale conform ordinei literelor  $ABC$ , razele  $MH$  emerg din ce în ce mai oblic din prismă și, în fine, după emergența cea mai oblică sînt reflectate spre  $N$  și, mergînd spre  $p$ , fac

să crească numărul razelor  $Np$ . După aceea, prin continuarea mișcării primei prisme, razele  $MG$  sînt de asemenea reflectate spre  $N$  și măresc numărul razelor  $Nt$ . Prin urmare, lumina  $MN$  admite în compoziția sa mai întîi razele mai refrangibile, apoi razele mai puțin refrangibile și numai după această compunere ea este de aceeași natură cu lumina solară imediată  $FM$ , reflexia bazei reflectătoare  $BC$  neproducînd în ea nici o alterare.

*Experiența 10.* Am unit două prisme de aceeași formă, astfel ca axele lor și fețele opuse, fiind paralele, să formeze un paralelipiped. Soarele luminînd în camera mea întunecată printr-un orificiu mic din oblonul ferestrei, am așezat acest paralelipiped în fasciculul său la o distanță oarecare de orificiu, într-o astfel de poziție ca axele prismelor să poată fi perpendiculare la razele incidente și ca acele raze, fiind incidente pe prima față a unei prisme, să poată trece printre fețele învecinate ale ambelor prisme și să iasă afară prin ultima față a prisme a doua. Această față, fiind paralelă cu prima față a prisme întîi, făcea ca lumina emergentă să fie paralelă cu cea incidentă. Apoi dincolo de aceste două prisme am așezat o a treia, care putea refracta lumina emergentă și prin această refracție proiecta culorile obișnuite ale prisme pe peretele opus sau pe o bucată de hîrtie albă așezată la o distanță convenabilă în spatele prisme pentru ca lumina refractată să cadă pe ea. După aceasta am învîrtit paralelipipedul în jurul axei sale și am găsit că, atunci cînd fețele învecinate ale celor două prisme devin atît de înclinate față de razele incidente încît toate acele raze încep să fie reflectate, razele care în prisma a treia au suferit cea mai mare refracție și au colorat hîrtia în violet și albastru au fost primele eliminate din lumina transmisă printr-o reflexie totală, restul rămînînd și luminînd hîrtia în verde, galben, portocaliu și roșu, ca mai înainte. După aceea, continuînd mișcarea celor două prisme, restul razelor de asemenea dispăreau pe rînd printr-o reflexie totală, conform gradului lor de refrangibilitate. De aceea lumina care iese din cele două prisme este compusă din raze cu refrangibilitate diferită, deoarece razele mai refrangibile pot fi eliminate, pe cînd cele mai puțin refrangibile rămîn. Dar această lumină traversînd numai suprafețele paralele ale celor două prisme, dacă suferea vreo schimbare prin refracție la una dintre suprafețe, acest efect se pierdea prin refracția contrară a celorlalte suprafețe și astfel se reconstitua compoziția ei anterioară, devenind de aceeași natură și condiție ca la început



înainte de incidența ei pe aceste prisme; prin urmare, înainte de incidență, ea era tot așa compusă din raze cu refrangibilitate diferită ca și după aceea.

*Explicație.* În figura 22,  $ABC$  și  $BCD$  sînt cele două prisme unite între ele în formă de paralelipiped, fețele lor  $BC$  și  $CB$  fiind alăturate, iar fețele  $AB$  și  $CD$  paralele.  $HIK$  este prisma a treia, prin care lumina solară propagată prin orificiul  $F$  în camera întunecată și acolo, trecînd prin fețele  $AB$ ,  $BC$ ,  $CB$  și  $CD$  ale prismelor, este refractată în  $O$  spre hîrtia albă  $PT$ , căzînd parțial în  $P$

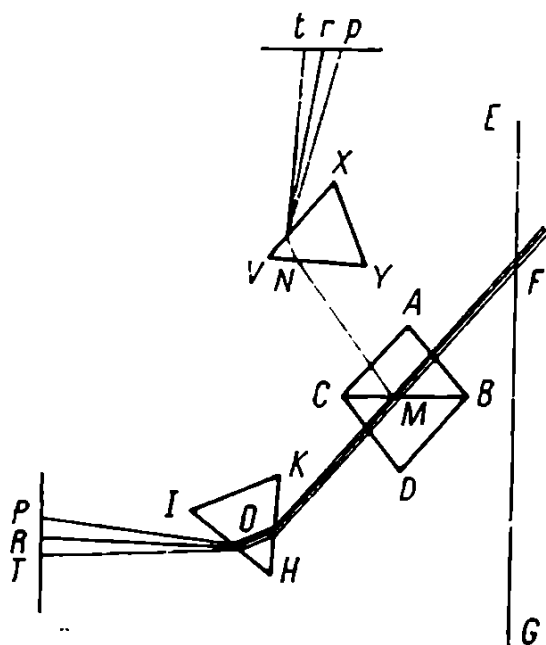


Fig. 22

printr-o refracție mai mare, parțial în  $T$  printr-o refracție mai mică și tot parțial în  $R$  și alte locuri intermediare prin refracții intermediare. Prin rotirea paralelipipedului  $ACBD$  în jurul axei sale în ordinea literelor  $A, C, D, B$ , la sfîrșit, cînd planele alăturate  $BC$  și  $CB$  devin suficient de oblice față de raza  $FM$  incidentă pe ea în  $M$ , va dispărea total din lumina refractată  $OPT$  mai întîi de toate raza cea mai refractată  $OP$  (restul  $OR$  și  $OT$  rămîinînd ca mai înainte), apoi raza  $OR$  și altele intermediare și la urmă raza cea mai puțin refractată  $OT$ . Într-adevăr, cînd planul  $BC$  devine suficient de înclinat față de raza incidentă pe el, razele vor începe să fie total reflectate de el spre  $N$ . Mai întîi va fi reflectată total raza cea mai refrangibilă (așa cum s-a explicat în experiența prece-

dentă) și, în consecință, ea trebuie să dispară mai întâi în  $P$ , iar după aceea restul, la fel cum sînt reflectate total pe rînd spre  $N$ , trebuie să dispară în aceeași ordine în  $R$  și  $T$ . Apoi razele care în  $O$  suferă o refracție mai mare pot fi eliminate din lumina  $MO$ , în timp ce restul razelor rămîne în ea și de aceea lumina  $MO$  este compusă din raze cu refrangibilitate diferită. Fiindcă planele  $AB$  și  $CD$  sînt paralele și, prin urmare, prin refracții egale și contrare își distrug reciproc efectele, lumina incidentă  $FM$  trebuie să fie de același fel și aceeași natură cu lumina emergentă  $MO$  și deci trebuie să se compună din raze cu refrangibilitate diferită. Cele două lumini  $FM$  și  $MO$ , înainte ca razele cele mai refrangibile să fi fost separate de lumina emergentă  $MO$ , coincid la culoare și la toate celelalte proprietăți în măsura observațiilor mele și de aceea pe bună dreptate se consideră de aceeași natură și constituție și, în consecință, una e tot atît de compusă ca și cealaltă. Dar după ce razele cele mai refrangibile încep să fie total reflectate și în acest fel separate din lumina emergentă  $MO$ , această lumină își schimbă succesiv culoarea de la alb la galben-deschis și slab, apoi la un portocaliu frumos, apoi la un roșu foarte închis și apoi dispare cu totul. Căci după ce razele cele mai refrangibile care colorează hîrtia în  $P$  cu o culoare proprie sînt eliminate din fasciculul de lumină  $MO$  printr-o reflexie totală, restul culorilor care apar pe hîrtie în  $R$  și  $T$ , fiind amestecate în lumina  $MO$ , compun acolo un galben slab, iar după ce albastrul și o parte din verde care apar pe hîrtie între  $P$  și  $R$  sînt eliminate, restul care apare între  $R$  și  $T$  (adică galbenul, portocaliul, roșul și puțin din verde), fiind amestecate în fasciculul  $MO$ , formează acolo un portocaliu; iar cînd toate razele sînt eliminate din fasciculul  $MO$  prin reflexie, cu excepția celor mai puțin refrangibile care în  $T$  apar de un roșu închis, culoarea lor este aceeași în fasciculul  $MO$  ca mai tîrziu în  $T$ , refracția prismei  $HJK$  servind numai la separarea razelor cu refrangibilitate diferită, fără a provoca nici o alterare în culorile lor, după cum se va demonstra mai bine în cele ce urmează. Toate acestea confirmă la fel de bine atît prima propoziție, cît și pe a doua.

*Observație.* Dacă s-ar îmbina această experiență cu cea precedentă și s-ar face o altă experiență folosind o a patra prismă  $VXY$  (fig. 22), care să refracte fasciculul reflectat  $MN$  spre  $tp$ , concluzia ar fi și mai clară. Căci lumina  $Np$ , care este refractată mai mult în prisma a patra, va deveni mai închisă și mai intensă cînd lumina

$OP$ , care este refractată mai mult în prisma a treia  $HIK$ , dispăre în  $P$ , iar după aceea, cînd lumina cea mai puțin refractată  $OT$  dispăre în  $T$ , lumina cea mai puțin refractată  $Nt$  va începe să crească, în timp ce lumina mai mult refractată în  $p$  nu mai suferă nici o creștere. După cum fasciculul transmis  $MO$ , dispărînd, este totdeauna de culoarea care trebuie să rezulte din amestecul culorilor ce cad pe hîrtia  $PT$ , tot așa fasciculul reflectat  $MN$  este totdeauna de culoarea care rezultă din amestecul culorilor ce cad pe hîrtia  $pt$ . Într-adevăr, cînd razele cele mai refrangibile sînt eliminate din fasciculul  $MO$  printr-o reflexie totală și fasciculul rămîne de culoare portocalie, surplusul de raze în lumina reflectată nu numai face ca violetul, indigoul și albastrul în  $p$  să fie mai închise, ci face ca și fasciculul  $MN$  să se schimbe de la culoarea gălbuie a luminii solare într-un alburii-pal, înclinînd spre albastru, iar după aceea să-și recapete iarăși culoarea gălbuie îndată ce tot restul luminii transmise  $MOT$  este reflectată.

Urmărind toată această varietate de experiențe în care fie că încercarea se face în lumină reflectată de corpuri naturale, ca în experiența întâi și a doua, sau de cele reflectatoare, ca în a noua, sau în lumină refractată, și anume înainte ca razele refractate inegal să diveargă separate una de alta și pierzîndu-și albul pe care l-au avut împreună să apară separate în diverse culori, ca în experiența a cincea, sau după ce sînt separate una de alta și apar colorate, ca în experiențele a șasea, a șaptea și a opta, sau în lumina trimisă prin suprafețe paralele, distrugîndu-și reciproc efectele, ca în experiența a zecea, există totdeauna raze care la incidențe egale pe același mediu suferă refracții inegale, și aceasta fără nici o divizare sau dilatare a diverselor raze, ca în experiențele a cincea și a șasea. Razele care diferă în refrangibilitate pot fi împărțite și separate una de alta fie prin refracție, ca în experiența a treia, fie prin reflexie, ca în a zecea, și apoi diferitele feluri separate la incidențe egale suferă refracții inegale; acele feluri sînt mai mult refractate după separare decît altele care erau mai mult refractate înainte de separare, ca în experiențele a șasea și următoarea, și, dacă lumina solară traversează trei sau mai multe prisme încrucișate succesiv, razele care în prima prismă sînt refractate mai mult decît celelalte sînt refractate în toate prismele următoare mai mult decît celelalte în același raport, așa cum apare în experiența a cincea; este evident că lumina solară este un amestec eterogen de raze, dintre care unele sînt în mod constant mai refrangibile decît celelalte, după cum s-a spus.

## PROPOZIȚIA III. TEOREMA III

*Lumina solară este constituită din raze care diferă în reflexibilitate și razele care sînt mai reflexibile decît altele sînt și cele mai refrangibile.*

Aceasta s-a dovedit prin experiențele a noua și a zecea. Astfel, în experiența a noua, prin învîrtirea prisme în jurul axei sale, pînă cînd razele din interiorul ei care ieșeau în aer, fiind refractate către baza ei, deveneau atît de înclinate față de bază încît începeau acolo să fie reflectate total, acele raze erau mai întîi reflectate total, care mai înainte, la incidențe egale cu restul, au suferit refracția cea mai mare. Același lucru se întîmplă în reflexia făcută la baza comună a celor două prisme în experiența a zecea.

## PROPOZIȚIA IV. PROBLEMA I

*Să separăm una de alta razele eterogene ale luminii compuse.*

Razele eterogene sînt într-o oarecare măsură separate una de alta în experiența a treia prin refracția prisme, iar în experiența a cincea prin îndepărtarea penumbrei de pe laturile rectilinii ale imaginii colorate, separare care la acele imagini foarte rectilinii sau muchii drepte ale imaginii devine perfectă. Dar, în toate pozițiile dintre acele laturi rectilinii, nenumăratele cercuri descrise acolo, care sînt luminate diferit de razele omogene, prin interferarea uneia cu alta, fiind foarte amestecate, fac ca lumina să fie suficient de compusă. Dar dacă aceste cercuri pot fi micșorate în diametru în timp ce centrele lor își păstrează distanțele și pozițiile, interferența lor și, în consecință, amestecul razelor eterogene vor fi micșorate în aceeași proporție. În figura 23 fie  $AG, BH, CI, DK, EL, FM$  cercurile pe care diferitele feluri de raze venind de la același disc al Soarelui le luminează ca în experiența a treia; din toate acestea și din altele nenumărate intermediare situate într-o serie continuă între două laturi rectilinii și paralele ale imaginii alungite a Soarelui  $PT$  este compusă această imagine, așa cum s-a explicat în experiența a cincea. Fie apoi  $ag, bh, ci, dk, el, fm$  tot atîtea cercuri mici situate într-o serie continuă asemănătoare, între două linii drepte paralele  $af$  și  $gm$  cu aceeași distanță între centrele lor și luminate de aceleași feluri de raze, cum este cercul  $ag$  luminat cu același fel de raze ca cercul corespunzător  $AG$  și cercul  $bh$  luminat la fel ca cercul corespunzător  $BH$  și, respectiv, restul cercurilor  $ci, dk, el, fm$ , cu același

fel de raze cu care au fost luminate diferitele cercuri corespunzătoare  $CI$ ,  $DK$ ,  $EL$ ,  $FM$ . În figura  $PT$ , formată dintr-un număr mai mare de cercuri, trei dintre aceste cercuri  $AG$ ,  $BH$ ,  $CI$  pătrund atât de mult unul într-altul, încît cele trei feluri de raze cu care sînt luminate acele cercuri, împreună cu nenumărate feluri de raze intermediare, sînt amestecate în  $QR$  în mijlocul cercului  $BH$ . Același amestec

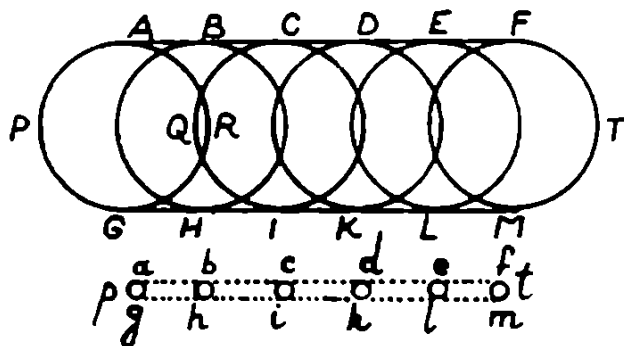


Fig. 23

are loc pe aproape întreaga lungime a figurii  $PT$ . Dar în figura  $pt$ , compusă din cercuri mai mici, cele trei cercuri  $ag$ ,  $bh$ ,  $ci$ , care corespund celor trei mai mari, nu se întrepătrund; nu s-au amestecat acolo nici măcar două sau trei feluri de raze care luminează acele cercuri și care în figura  $PT$  sînt toate amestecate în  $BH$ .

Cine va lua în considerare aceste fapte va înțelege ușor că amestecul s-a micșorat în același raport cu diametrele cercurilor. Dacă diametrele cercurilor devin de trei ori mai mici decît mai înainte, în timp ce centrele lor rămîn aceleași, amestecul va fi de asemenea de trei ori mai mic; dacă devin de zece ori mai mici, amestecul va fi de zece ori mai mic, tot așa și pentru celelalte rapoarte. Aceasta înseamnă că amestecul de raze în figura mai mare  $PT$  și amestecul lor din figura mai mică  $pt$  vor fi în același raport ca raportul dintre lățimea figurii mai mari și lățimea celei mai mici. Într-adevăr, lățimile acestor figuri sînt egale cu diametrele cercurilor lor. De aici rezultă ușor că amestecul de raze în spectrul de refracție  $pt$ , raportat la amestecul de raze în lumina directă și imediată a Soarelui este același cu raportul dintre lățimea acestui spectru și diferența dintre lungimea și lățimea aceluiași spectru.

Apoi, dacă voim să micșorăm amestecul de raze, trebuie să micșorăm diametrele cercurilor. Acestea se vor micșora dacă diametrul Soarelui căruia îi corespund va fi micșorat și mai mult sau

(ceea ce revine la același lucru) dacă în afara camerei, la o mare distanță de prismă, a fost așezat în fața Soarelui un corp opac cu un orificiu rotund în mijlocul lui pentru a opri toată lumina Soarelui, exceptînd pe aceea care, venind de la mijlocul corpului său, poate trece prin orificiu spre prismă. Astfel cercurile  $AG$ ,  $BH$  și restul nu vor mai corespunde întregului disc solar, ci numai acelei părți din el care poate fi văzut de la prismă prin acel orificiu, adică mărimii aparente a orificiului privit de la prismă. Dar pentru ca aceste cercuri să corespundă mai distinct acestui orificiu, se așază o lentilă la prismă pentru a proiecta imaginea orificiului (adică fiecare din cercurile  $AG$ ,  $BH$  etc.) distinct pe hîrtie în  $PT$ , la fel cum sînt proiectate distinct pe o hîrtie din interiorul camerei obiectele din afară cu ajutorul unei lentile așezate la fereastră, iar laturile rectilinii ale imaginii solare alungite în experiența a cincea devin distincte fără nici o penumbră. Dacă s-a făcut aceasta, nu va fi necesar să se așeze orificiul foarte departe, nici măcar dincolo de fereastră. De aceea în locul celui orificiu am folosit orificiul din oblonul ferestrei după cum urmează.

*Experiența 11.* În lumina solară care intra în camera mea întunecată printr-un orificiu rotund mic din oblonul ferestrei, la aproximativ zece sau douăsprezece picioare de la fereastră am așezat o lentilă prin care imaginea orificiului putea fi proiectată distinct pe o bucată de hîrtie albă situată la distanța de șase, opt, zece sau douăsprezece picioare de la lentilă. Căci, conform diferenței dintre lentile, am folosit diverse distanțe care am considerat că merită să fie descrise. Apoi imediat după lentilă am așezat o prismă prin care lumina ce o traversează putea fi refractată în sus sau lateral, și astfel imaginea rotundă, pe care lentila singură o proiecta pe hîrtie, putea fi alungită într-una cu laturi paralele, ca în experiența a treia. Am lăsat să cadă această imagine alungită pe o altă hîrtie și la aproximativ aceeași distanță de prismă ca și înainte, mișcînd hîrtia fie spre prismă, fie de la ea, pînă cînd am găsit distanța corectă la care laturile rectilinii ale imaginii deveneau mai distincte. Într-adevăr, în acest caz imaginile circulare ale orificiului care compun aceea imagine în felul în care cercurile  $dg$ ,  $bh$ ,  $ci$  etc. formează figura  $pt$  (fig. 23) erau mărginite mai distinct fără nici o penumbră și de aceea pătrundeau unul într-altul cît se poate de puțin și, în consecință, amestecul razelor eterogene era acum cel mai mic posibil. În acest fel am căutat să formez o imagine alungită (la fel ca  $pt$  în fig. 23 și 24) a imaginilor circulare ale orificiului (cum sînt  $ag$ ,  $bh$ ,  $ci$  etc.) și, prin folosirea unui orificiu mai mare sau mai mic în oblonul fe-

restrei, am obținut ca imaginile circulare  $ag$ ,  $bh$ ,  $ci$  etc. din care era formată să devină mai mari sau mai mici, după dorință, astfel ca amestecul razelor în imaginea  $pt$  să fie atît de mare sau de mic după dorință.

*Explicație.* În figura 24,  $F$  reprezintă orificiul circular în oblo-nul ferestrei,  $MN$  lentila prin care imaginea orificiului este proiectată

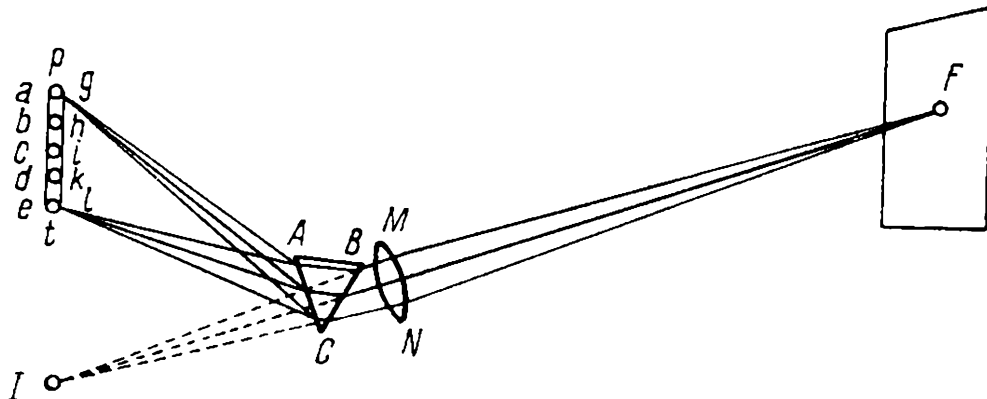


Fig. 24

clar pe o hîrtie în  $I$ ,  $ABC$  prisma prin care razele la ieșirea lor din lentilă sînt refractate de la  $I$  spre o altă hîrtie în  $pt$ , iar imaginea rotundă în  $I$  este transformată într-o imagine alungită  $pt$ , căzînd pe hîrtia cealaltă. Imaginea  $pt$  constă din cercuri așezate unul după altul în ordine rectilinie, așa cum s-a explicat suficient în experiența a cincea; aceste cercuri sînt egale cu cercul  $I$  și, în consecință, corespund ca mărime cu orificiul  $F$ ; prin urmare, micșorînd orificiul, ele pot fi micșorate după dorință, în timp ce centrele lor rămîn fixe. În acest fel am făcut ca lărgimea imaginii  $pt$  să fie de patru ori sau uneori de șase sau șapte ori mai mică decît lungimea ei. De exemplu, dacă lărgimea orificiului  $F$  este de o zecime de inch, iar distanța  $MF$  a lentilei de la orificiu de 12 picioare și dacă distanța  $pB$  sau  $pM$  a imaginii  $pt$  de la prismă sau de la lentilă este de 10 picioare, iar unghiul de refracție al prisme este de 62 de grade, lă-țimea imaginii  $pt$  va fi a douăsprezecea parte dintr-un inch, iar lungimea de aproximativ șase inch și, prin urmare, lungimea către lățime va fi 72/1 și, în consecință, lumina imaginii de va fi de 71 de ori mai puțin compusă decît lumina solară directă. O astfel de lumină, mult mai simplă și mai omogenă, este suficientă pentru a face toate experiențele cu lumină simplă din această lucrare. Într-adevăr, compoziția razelor eterogene în această lumină este așa de mică, încît cu greu se poate descoperi sau percepe cu simțul,

cu excepția, poate, a indigoului și a violetului. Căci acestea, fiind culori închise, suferă ușor o alterare sensibilă de la puțină lumină dispersată, care de obicei era refractată neregulat de inegalitățile din prismă.

Este însă mai bine ca orificiului circular  $F$  să i se substituie un orificiu alungit, de formă asemănătoare unui paralelogram lung

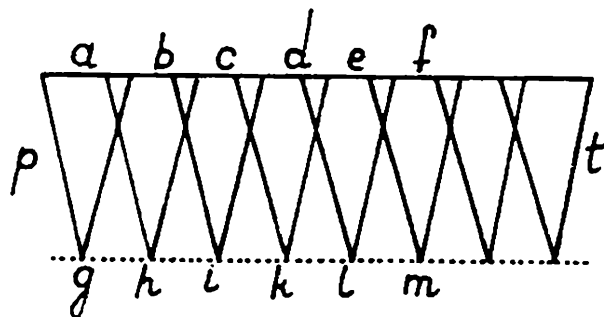


Fig. 25

cu lungimea paralelă cu prisma  $ABC$ . Căci dacă acest orificiu este lung de un inch sau două, dar lat de a zecea sau a douăzecea parte dintr-un inch sau mai puțin, lumina imaginii  $pt$  va fi tot atât de simplă ca înainte sau și mai simplă, iar imaginea va deveni mult mai lată și, prin urmare, mai potrivită pentru a face experiențe în lumina ei decât înainte.

În locul acestui orificiu în formă de paralelogram se poate întrebuința unul triunghiular cu laturi egale, a cărui bază, de exemplu, este aproximativ de o zecime de inch, iar înălțimea de un inch sau mai mult. Într-adevăr, în acest fel, dacă axa prisme este paralelă cu înălțimea triunghiului, imaginea  $pt$  (fig. 25) va fi formată acum din triunghiurile isoscele  $ag, bh, ci, dk, el, fm$  etc. și alte nenumărate intermediare, unele corespunzând ca formă și mărime cu orificiul triunghiular, fiind situate unul după altul într-o serie continuă între două linii paralele  $af$  și  $gm$ . Aceste triunghiuri sînt puțin amestecate la baza lor, dar nu și la vîrfuri, de aceea lumina de pe latura strălucitoare  $af$  a imaginii, unde se găsesc bazele triunghiurilor, este într-o mică măsură compusă, însă pe latura mai întunecată  $gm$  este cu totul necompusă și în toate locurile dintre laturi compoziția este proporțională cu distanțele de la locurile respective la latura întunecată  $gm$ . Avînd un spectru  $pt$  cu o astfel de compoziție, putem face experiențele fie în partea cu lumina mai puternică și mai puțin simplă aproape de latura  $af$ , fie în partea cu lumină



mai slabă și mai simplă, aproape de cealaltă latură *gm*, după cum va fi mai convenabil.

Dar în efectuarea experiențelor de acest fel camera trebuie să fie cât se poate de întunecată, pentru ca nici o lumină străină să nu se amestece cu lumina spectrului *pt* și s-o facă compusă; în special dacă voim să facem experiența în lumina mai simplă apropiată de latura *gm* a spectrului, care, fiind mai slabă, va avea o proporție mai mică de lumină străină, astfel amestecul cu această lumină va perturba mai mult și o va face să fie mai compusă. Lentila de asemenea trebuie să fie bună, astfel ca să poată servi întrebuințării optice, iar prisma trebuie să aibă un unghi mare, să presupunem de 65 sau de 70 de grade, și să fie bine șlefuită, fiind lucrată din sticlă lipsită de bule și vine, fără ca fețele ei să fie convexe sau concave, cum se întâmplă de obicei, ci perfect plane și bine șlefuite, ca la prelucrarea sticlelor optice, și nu așa ca în șlefuirea obișnuită cu chit, în care, fiind netezite numai golurile cauzate de nisip, rămân pe întreaga sticlă ridicări foarte mici convexe, asemenea undelor. La fel marginile prismelor și a lentilelor, atît cît pot ele da vreo refracție neregulată, trebuie să fie acoperite cu hîrtie neagră, lipită pe ele. Toată lumina fasciculului solar care intră în cameră și care este nefolositoare pentru experiență trebuie oprită cu hîrtie neagră sau cu alte obstacole negre, căci altfel lumina nefolositoare, fiind reflectată în toate părțile în cameră, se va amesteca cu spectrul alungit și-l va perturba. Încercînd aceste experiențe, se constată că nu e totdeauna necesară o asemenea precauție, dar ea va garanta succesul experiențelor și merită să fie aplicată de un experimentator foarte scrupulos. Sînt greu de găsit prisme de sticlă potrivite acestui scop și de aceea am folosit uneori vase prismatice confecționate din bucăți de oglinzi sparte și umplute cu apă de ploaie. Iar pentru a mări refracția, uneori am impregnat tare apa cu *Saccharum Saturni*\*.

#### PROPOZIȚIA V. TEOREMA IV

*Lumina omogenă se refractă regulat fără nici o dilatare, scindare sau împrăștiere a razelor, iar apariția confuză a obiectelor privite prin corpuri refringente în lumină eterogenă provine din refrangibilitatea diferită a diverselor feluri de raze.*

---

\* *plumbum aceticum* — acetat de plumb.

Prima parte a acestei propoziții a fost deja demonstrată suficient în experiența a cincea și va reieși mai mult din experiențele ce urmează.

*Experiența 12.* În mijlocul unei hîrtii negre am făcut un orificiu rotund, cu diametrul de aproximativ o cincime sau o șesime de inch. Am făcut să cadă pe această hîrtie spectrul luminii omogene descris în propoziția precedentă, astfel ca o parte a luminii să poată trece prin orificiul hîrtiei. Această parte transmisă a luminii am refractat-o cu o prismă așezată în spatele hîrtiei și, lăsînd lumina refractată să cadă perpendicular pe o hîrtie albă la distanța de două sau trei picioare de la o prismă, am aflat că spectrul format pe hîrtie de această lumină nu era alungit, ca atunci cînd aceasta se făcea prin refracția luminii solare compuse (experiența a treia), ci (după cît am putut aprecia cu ochiul) era perfect circulară, lungimea nefiind mai mare decît lățimea ceea ce arată că această lumină este refractată regulat fără nici o dilatare a razelor.

*Experiența 13.* Am așezat în lumina omogenă un cerc de hîrtie cu diametrul de un sfert de inch, iar în lumina solară albă, nereflectată, eterogenă am așezat un alt cerc de hîrtie de aceeași mărime. Îndepărtîndu-mă de hîrtii la distanța de cîteva picioare, am privit ambele cercuri printr-o prismă. Cercul luminat de lumina solară eterogenă apărea foarte alungit, ca în experiența a patra, lungimea fiind de cîteva ori mai mare decît lățimea, însă celălalt cerc, luminat cu lumină omogenă, apărea circular și distinct definit, ca atunci cînd îl priveam cu ochiul liber. Aceasta confirmă întreaga propoziție.

*Experiența 14.* Am așezat în lumina omogenă muște și alte obiecte mici de acest fel și, privindu-le printr-o prismă, le vedeam părțile atît de distinct definite ca și cînd le-aș fi privit cu ochiul liber. Aceleași obiecte le-am privit de asemenea printr-o prismă în lumina solară albă nereflectată, eterogenă, și le-am văzut foarte confuz conturate, astfel că nu puteam distinge concret părțile lor mai mici de celelalte. Am așezat de asemenea literele unei tipărituri mici o dată în lumina omogenă, iar apoi în cea eterogenă, și, privindu-le printr-o prismă, ele apăreau în ultimul caz atît de confuze și de nedistincte, încît nu le-am putut citi; în primul caz însă apăreau atît de distinct, încît le-am putut citi ușor; mi s-a părut că le văd așa de clar ca și cînd le-aș fi privit cu ochiul liber. În ambele cazuri am privit aceleași obiecte prin aceeași prismă la aceeași distanță de mine și în aceeași situație. Nu exista nici o diferență decît în lumina cu care erau luate obiectele și care într-un caz era simplă, iar în cealaltă compusă; prin urmare, viziunea clară în

primul caz și confuză în ultimul nu putea proveni din nimic altceva decît de la acea diferență dintre lumini. Aceasta confirmă întreaga propoziție.

În aceste trei experiențe mai este de remarcă că culoarea luminii omogene niciodată nu se schimba prin refracție.

#### PROPOZIȚIA VI. TEOREMA V

*Sinusul de incidență a fiecărei raze considerate separat este într-un raport dat față de sinusul său de refracție.*

Din cele spuse mai sus este evident că fiecare rază considerată separat are un anumit grad constant de refrangibilitate. Razele, care în prima refracție, la incidențe egale, sînt refractate mai mult, în următoarele refracții, la incidențe egale, sînt de asemenea refractate mai mult; la fel cele mai puțin refrangibile și restul care au un anumit grad mijlociu de refrangibilitate, după cum rezultă din experiențele a cincea, a șasea, a șaptea, a opta și a noua. Razele care prima dată, la incidențe egale, sînt egal refractate tot la incidențe egale sînt iarăși egal și uniform refractate, și aceasta fie că sînt refractate înainte de a fi separate una de alta, ca în experiența a cincea, fie că sînt refractate separat, ca în experiențele a douăsprezecea, a treisprezecea și a patrusprezecea. Prin urmare, refracția fiecărei raze separate este regulată și acum vom arăta ce reguli urmează această refracție \*.

Autorii mai noi de tratate de optică ne învață că sinusurile de incidență sînt într-un raport dat către sinusurile de refracție, așa cum s-a explicat în axioma a cincea, iar unii, examinînd acest raport cu instrumente potrivite pentru măsurarea refracțiilor sau prin alte moduri de experimentare, ne informează că le-au găsit exacte. Dar în timp ce ei, neînțelegînd refrangibilitatea diferită a diverselor raze, le concep pe toate ca fiind refractate conform unuia și aceluiași raport, este de presupus că măsurătorile lor erau făcute numai asupra mijlocului luminii refractate, astfel că din măsurătorile lor putem conchide că razele cu un grad mediu de refrangibilitate, adică acelea care atunci cînd sînt separate de rest apar verzi, sînt refractate conform raportului dat de sinusurile lor. De aceea noi vom arăta că se obțin rapoarte asemănătoare și pentru tot restul. Este foarte rezonabil să fie așa, deoarece natura este întotdeauna conformă cu ea

---

\* Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea I, secț. II.

însăși; dar ar fi de dorit și o verificare experimentală. O astfel de verificare va fi făcută dacă vom putea arăta că sinusurile de refracție ale razelor cu refrangibilitate diferită sînt între ele într-un raport dat atunci cînd sinusurile lor de incidență sînt egale. Într-adevăr, dacă sinusurile de refracție ale tuturor razelor sînt în rapoarte date către sinusul de refracție a unei raze cu un grad mediu de refrangibi-

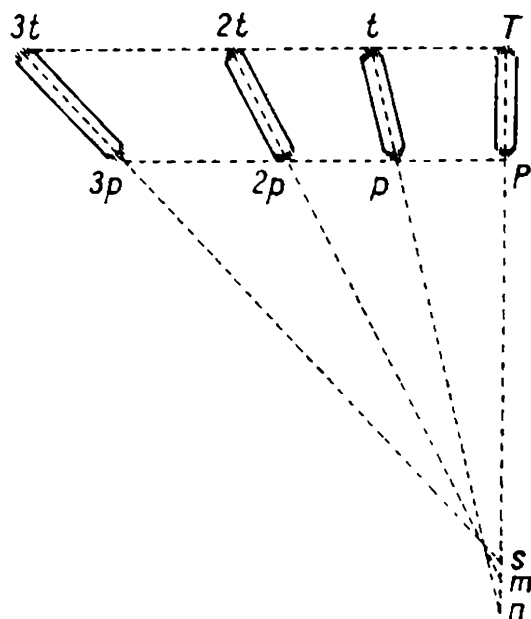


Fig. 26

litate și acest sinus este într-un raport dat către sinusurile de incidență egale, celelalte sinusuri de refracție vor fi de asemenea în rapoarte date către sinusurile de incidență egale. Dacă sinusurile de incidență sînt egale, din experiența ce urmează va apărea că sinusurile de refracție sînt într-un raport dat unul cu celălalt.

*Experiența 15.* Soarele, luminînd într-o cameră întunecată printr-un mic orificiu rotund din oblonul ferestrei, formează (fig. 26) imaginea sa albă  $S$  pe peretele opus, datorită luminii directe,  $PT$  imaginea sa alungită, colorată datorită refracției aceleiași lumini printr-o prismă așezată la fereastră, și  $pt$  sau  $2p$   $2t$ ,  $3p$   $3t$  imaginea sa alungită colorată, obținută printr-o nouă refracție laterală a aceleiași lumini cu o a doua prismă așezată imediat după prima în poziție încrucișată, așa cum s-a explicat în experiența a cincea, adică să zicem  $pt$  cînd refracția prismei a doua este mică,  $2p$   $2t$  cînd refracția ei este mai mare și  $3p$   $3t$  cînd ea este cea mai

mare. Într-adevăr, aceasta va fi diversitatea refracțiilor dacă unghiul de refracție a prisme *a doua* este de diferite mărimi, să presupunem de cincisprezece sau douăzeci de grade ca să formeze imaginea *pt* de treizeci sau patruzeci ca să formeze imaginea *2p 2t* și de șasezeci ca să formeze imaginea *3p 3t*. Dar, din lipsă de prisme solide de sticlă cu unghiuri de mărimi convenabile, se pot utiliza vase făcute din plăci de sticlă șlefuite și cimentate împreună sub formă de prisme și umplute cu apă. Lucrînd în felul acesta, am observat că toate imaginile solare sau spectrele colorate *PT*, *pt*, *2p 2t*, *3p*, *3t* convergeau foarte aproape de poziția *S* în care se forma imaginea albă și rotundă în lumina solară directă cînd prismele erau înlăturate. Axa spectrului *PT*, adică linia trasală prin mijlocul lui paralel cu laturile sale rectilinii, dacă se prelungește trece exact prin mijlocul imaginii rotunde și albe *S*. Iar cînd refracția prisme *a doua* era mai mică decît refracția celei dintîi, unghiurile de refracție a ambelor fiind de aproximativ 60 de grade, prelungind axa spectrului *3p 3t* formată de acea refracție, ea trecea de asemenea prin mijlocul aceleiași imagini albe și rotunde *S*. Dar cînd refracția prisme *a doua* era mai mică decît a celei dintîi, axele prelungite ale spectrelor *tp* sau *2t 2p* formate prin această refracție tăiau axa prelungită a spectrului *TP* în punctele *m* și *n*, puțin dincolo de centrul imaginii albe și rotunde *S*. De aceea raportul liniei *3tT/3pP* era puțin mai mare decît raportul *2tT/2pP*, iar acest raport puțin mai mare decît *tT/pP*. Dacă lumina spectrului *PT* cade perpendicular pe perete, liniile *3tT*, *3pP* și *2tT*, *2pP* și *tT*, *pP* sînt tangentele refracțiilor și, prin urmare, prin această experiență se obțin rapoartele, tangentelor de refracție, din care, fiind derivate rapoartele sinusurilor, devin egale, atît cît am putut aprecia privind spectrele și folosind un raționament matematic, căci eu nu am făcut un calcul exact. În măsura în care apare din experiență, propoziția este valabilă pentru fiecare rază în parte. Iar că aceasta este riguros adevărat se poate demonstra pe baza următoarei presupuneri : *corpurile refractă lumina prin acțiunea asupra razelor lor în linii perpendiculare pe suprafețele lor*. Pentru a face această demonstrație trebuie să descompun mișcarea fiecărei raze în două mișcări : una perpendiculară pe suprafața de refracție și alta paralelă cu ea și în ceea ce privește mișcarea perpendiculară să stabilesc o astfel de propoziție :

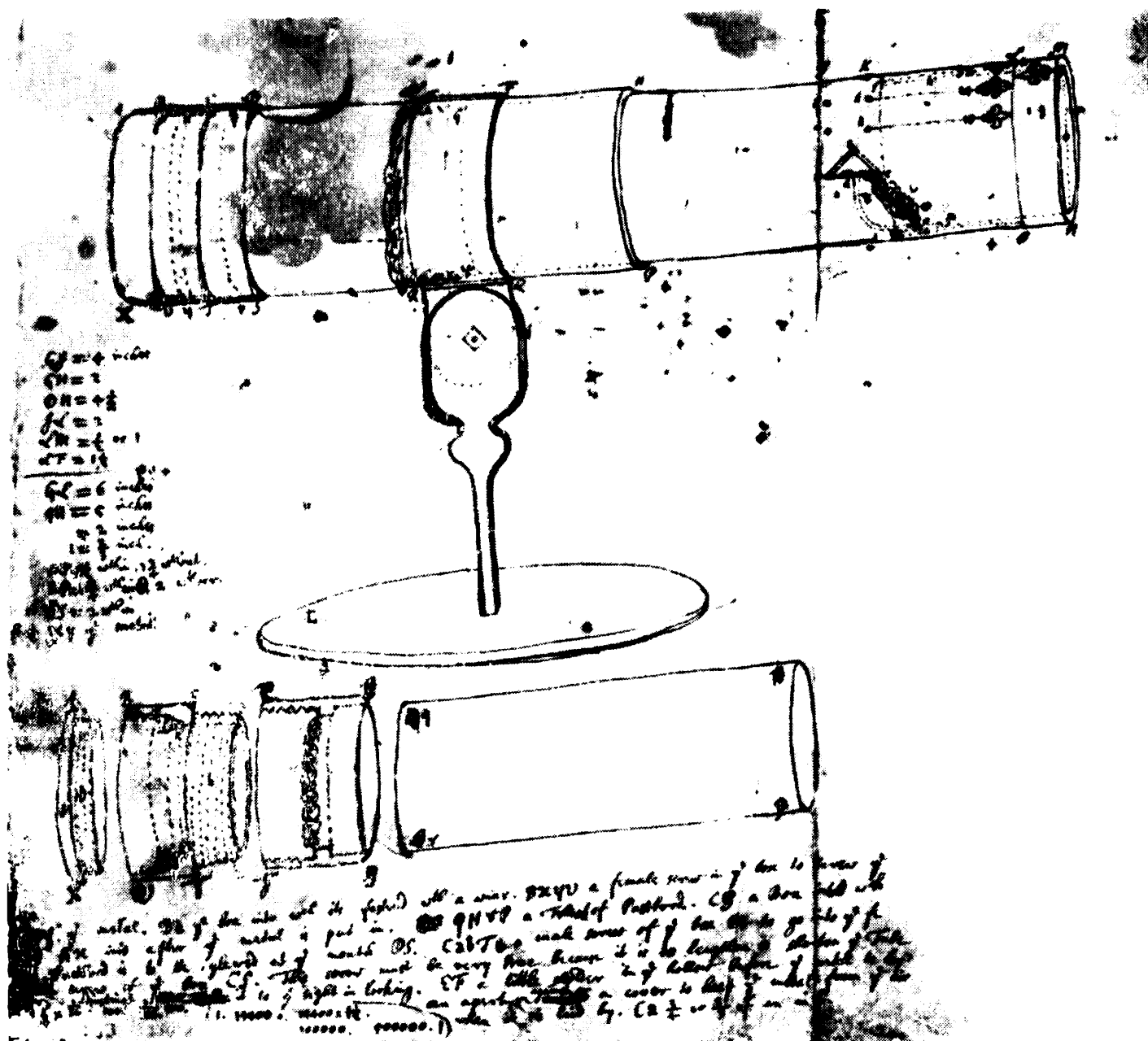
Dacă o mișcare sau un mobil oarecare cade cu orice viteză într-un spațiu întins și subțire, mărginit în ambele părți de două plane paralele, și în trecerea sa prin acest spațiu este împins perpen-

Cambridge March 16<sup>th</sup> 1671.

- The book with my Carrier. By forgetfulness. Disappointed me of the last week I have now received & thank you for it. With the Telescope w<sup>ch</sup> I made I have sometimes seen remote objects & particularly the Moon very distinct in those pts of it w<sup>ch</sup> were near the sides of the visible angle. And at other times when it hath been otherwise put together it hath exhibited things not without some confusion. W<sup>ch</sup> difference I attributed chiefly to some imperfection that might possibly be either in the figures or <sup>of</sup> metals or eye glass, & once I found it mended by a little tarnishing of the Metall in 4 or 5 days of moist weather.

One of the Fellows of o<sup>d</sup> College is making such another Telescope w<sup>ch</sup> w<sup>ch</sup> last night I looked on Jupiter & he seemed as distinct & sharply defined as I have seen him in other Telescopes. When he hath finished it I will examine more strictly & send you an account of its ~~per~~ performances. For it seems to be something better then that w<sup>ch</sup> I made.

Y<sup>o</sup><sup>r</sup> humble servant  
J. Newton



Planşa III. Desenul original al telescopului lui Newton şi al pieselor sale.

dicular spre planul mai îndepărtat de o forță care la distanțe date de plan are o valoare dată, viteza perpendiculară a acestei mișcări sau mobil la ieșirea sa din acest spațiu va fi întotdeauna egală cu rădăcina pătrată a sumei pătratului vitezei perpendiculare a acestei mișcări sau mobil la incidența sa pe acest spațiu și a pătratului vitezei perpendiculare pe care această mișcare sau mobil ar avea-o la emergența sa dacă la incidență viteza sa perpendiculară era infinit de mică.

Aceeași propoziție este adevărată pentru orice mișcare sau mobil întârziat perpendicular în trecerea sa prin acest spațiu dacă în locul sumei celor două pătrate luăm diferența lor. Matematicienii vor afla ușor demonstrația și de aceea nu voi incomoda cititorul cu ea. Să presupunem acum că o rază, venind foarte oblic pe linia  $MC$  (fig. 1), este refractată în  $C$  de planul  $RS$  pe direcția  $CN$  și, dacă se cere să găsim linia  $CE$  în care se va refracta o altă rază oarecare  $AC$ , fie  $MC$ ,  $AD$  sinusurile de incidență a celor două raze și  $NG$ ,  $EF$  sinusurile lor de refracție și fie mișcările egale ale razelor incidente reprezentate prin liniile egale  $MC$  și  $AC$ , iar mișcarea  $MC$  fiind considerată ca paralelă cu planul de refracție, să descompunem cealaltă mișcare  $AC$  în două mișcări,  $AD$  și  $DC$ , dintre care una,  $AD$ , este paralelă, iar cealaltă,  $DC$ , perpendiculară pe suprafața de refracție. Să presupunem în același fel că mișcările razelor emergente se descompun în două, dintre care cele perpendiculare

sînt  $\frac{MC}{NG} CG$  și  $\frac{AD}{EF} CF$ . Dacă forța planului de refracție începe

să acționeze asupra razelor fie în acest plan, fie la o anumită distanță de el într-o parte și sfîrșește la o anumită distanță de el de cealaltă parte, iar în toate pozițiile dintre aceste două limite acționează asupra razelor după linii perpendiculare pe planul de refracție, acțiunile asupra razelor la distanțe egale de planul de refracție fiind egale, iar la distanțe inegale fiind sau egale sau inegale conform unui raport oarecare, mișcarea razei paralele cu planul de refracție nu va suferi nici o schimbare din partea acestei forțe, dar mișcarea perpendiculară pe ea va fi schimbată conform regulii propoziției precedente. Prin urmare, dacă pentru viteza perpendiculară a razei

emergente  $CN$  scriem  $\frac{MC}{NG} CG$  ca mai sus, atunci viteza per-

pendiculară a unei alte raze emergente  $CE$ , care era  $\frac{AD}{EF} CF$ , va



fi egală cu rădăcina pătrată a lui  $CDq + \frac{MCq}{NGq} CGq$ . Ridicînd la pătrat aceste expresii egale și adunînd valorile egale  $ADq$  și  $MCq - CDq$ , apoi împărțind sumele cu egalele lor  $CFq + EFq$  și  $CGq + \frac{MCq}{NGq}$ , vom obține  $\frac{MCq}{NGq}$  egal cu  $\frac{ADq}{EFq}$ . De aici  $AD$ , sinusul de incidență, către  $EF$  sinusul de refracție, este în același raport ca  $MC$  către  $NG$ , adică într-un raport dat. Această demonstrație fiind generală, fără a determina ce este lumina sau de ce fel de forță este refractată sau admițînd orice alt lucru decît că corpul refractor acționează asupra razelor în linii perpendiculare pe suprafața lui, eu o consider ca fiind un argument foarte convingător pentru întregul adevăr al acestei propoziții.

Așadar, dacă într-un anumit caz se găsește *raportul* sinusurilor de incidență și de refracție pentru un anumit fel de raze, el este dat pentru toate cazurile; lucrul acesta se poate demonstra ușor prin metoda din propoziția următoare.

#### PROPOZIȚIA VII. TEOREMA VI

*Perfecționarea telescoapelor este împiedicată de refrangibilitatea diferită a razelor de lumină.*

Imperfecțiunea telescoapelor se atribuie în mod obișnuit formelor sferice a sticlelor și de aceea matematicienii au propus să le dea forma de secțiuni conice. Pentru a le arăta că greșesc, am inserat această propoziție: adevărul ei va apărea la măsurarea refracțiilor cîtorva feluri de raze; aceste măsuri le determin astfel:

În experiența a treia a acestei prime părți, unde unghiul de refracție al prisme era de  $62\frac{1}{2}$  grade, unghiul de incidență al razelor la ieșirea lor din sticlă în aer \* este jumătatea acestui unghi, 31 de grade 15 minute, iar sinusul acestui unghi este 5 188, raza fiind 10 000 \*\*. Cînd axa acestei prisme era paralelă cu orizontul și refracția razelor la incidența lor pe această prismă era egală cu refracția la emergență, am observat cu ajutorul unui euađrant \*\*\* unghiul pe care razele de refrangibilitate medie (adică acelea care mergeau

\* Vezi Newton, *Lectiões opticae*, partea I, secț. II, § 29.

\*\* Newton ia ca valoare maximă a sinusului 10 000 în loc de 1.

\*\*\* Raportor.

spre mijlocul imaginii colorate a Soarelui) îl formează cu orizontul, și din acest unghi și din altitudinea Soarelui, observată în același timp, am aflat că unghiul pe care razele emergente îl formau cu cele incidente este de 44 de grade și 40 de minute, iar jumătatea acestui unghi adunată cu unghiul de incidență de 31 de grade și 15 minute dau unghiul de refracție, care este, prin urmare, de 53 de grade și 35 de minute, sinusul său fiind 8 047. Acestea sînt sinusurile de incidență și de refracție ale razelor cu refrangibilitate medie, iar raportul lor în cifre rotunde este de 20 la 31. Sticla acestei prisme avea o culoare care înclina spre verde. Ultima dintre prismele menționate în experiența a treia era din sticlă albă clară. Unghiul ei de refracție era de 63 1/2 grade. Unghiul format de razele emergente cu cele incidente era de 45 de grade și 50 de minute. Sinusul jumătății primului unghi era 5 262. Sinusul jumătății sumei unghiurilor era 8 157, iar raportul lor în cifre rotunde de 20 la 31, ca și înainte.

Scăzînd din lungimea imaginii, care era de aproximativ 9 3/4 sau 10 inch, lărgimea sa, care era de 2 1/8 inch, restul de 7 3/4 inch era lungimea imaginii dacă Soarele ar fi un punct și, prin urmare, ar subîntinde unghiul pe care razele mai mult sau mai puțin refrangibile, căzînd pe prismă în același linii, îl formează între ele după emergența lor. De aceea acest unghi este de 2°0'7''. Într-adevăr, distanța dintre imagine și prismă cînd se forma acest unghi era de 18 1/2 picioare, iar la această distanță coarda de 7 3/4 inch subîntindea un unghi de 2°0'7''. Dar jumătatea acestuia este unghiul pe care-l făceau razele emergente cu razele emergente de refrangibilitate medie, și un sfert din acesta, adică 30'2'', poate fi considerat unghiul pe care l-ar forma razele emergente de refrangibilitate medie dacă ar coincide cu ele în interiorul sticlei și nu ar suferi nici o altă refracție decît cea de la ieșirea din sticlă. Dacă două refracții egale, una la incidența razelor pe prismă, iar cealaltă la emergența lor, formează jumătatea unghiului de 2°0'7'', una dintre aceste refracții va forma aproximativ un sfert din acest unghi, și acest sfert adunat și scăzut din unghiul de refracție al razelor de refrangibilitate medie, care era de 53°35', dă unghiurile de refracție al razelor celor mai mult și al celor mai puțin refrangibile de 54°5'2'' și, respectiv, 53°4'58'', ale căror sinusuri sînt 8 099 și 7 995, unghiul comun de incidență fiind de 31°15', iar sinusul său 5 188. Aceste sinusuri, luate în cele mai mici numere rotunjite, sînt unul către altul în raportul de 78 și 77 către 50.

Dacă scădem acum sinusul comun de incidență 50 din sinusurile de refracție 77 și 78, resturile 27 și 28 arată că la refracții mici

refracția razelor cu refrangibilitatea cea mai mică este către refracția razelor cu refrangibilitate cea mai mare aproape de raportul  $27/28$  și că diferența dintre refracțiile razelor cu refrangibilitatea cea mai mică și cea mai mare este de aproximativ a  $27\frac{1}{2}$ -a parte din refracția totală a razelor de refrangibilitate medie.

De aici cei familiarizați cu optica vor înțelege ușor \* că lărgimea celui mai mic spațiu circular, în care lentilele obiective ale telescoapelor pot strânge toate felurile de raze paralele, este de aproximativ a  $27\frac{1}{2}$ -a parte din jumătatea aperturii lentilei sau a 55-a parte a întregii aperturi și că focarul celor mai refrangibile raze este mai apropiat de lentila obiectiv decât focarul celor mai puțin refrangibile cu aproximativ a  $27\frac{1}{2}$ -a parte a distanței dintre lentila obiectivă și focarul razelor cu refrangibilitate medie.

Dacă razele de toate felurile venind dintr-un punct luminos oarecare pe axa oricărei lentile convexe converg după refracție prin lentilă în puncte nu prea depărtate de lentilă, focarul razelor celor mai refrangibile va fi mai apropiat de lentilă decât focarul celor mai puțin refrangibile cu o distanță care este a  $27\frac{1}{2}$ -a parte din distanța focarului razelor de refrangibilitate medie de la lentilă, aproximativ în raportul în care s-ar afla distanța dintre acel focar și punctul luminos de la care vin razele către distanța dintre acel punct luminos și lentilă.

Pentru a examina dacă diferența dintre refracțiile pe care le suferă razele cele mai refrangibile și cele mai puțin refrangibile care vin din același punct în lentilele obiective ale telescoapelor și altele asemănătoare este atât de mare cât s-a descris aici, am imaginat următoarea experiență.

*Experiența 16.* Lentila pe care am întrebuințat-o în experiența a doua și a opta, fiind așezată la o distanță de șase picioare și un inch de un obiectiv oarecare, forma imaginea acestui obiect prin razele de refrangibilitate medie de partea cealaltă a lentilei la distanța de șase picioare și un inch de lentilă. Prin urmare, după regula precedentă, ea trebuie să formeze imaginea acestui obiect în razele cele mai puțin refrangibile la distanța de șase picioare și  $3\frac{2}{3}$  inch de la lentilă, iar în cele mai refrangibile la distanța de cinci picioare și  $10\frac{1}{3}$  inch de ea, astfel că între cele două poziții în care razele cele mai puțin refrangibile și mai mult refrangibile formează imaginile să existe o distanță de aproximativ  $5\frac{1}{3}$  inch. Potrivit acestei

---

\* Vezi Newton, *Lectioes opticae*, partea I, secț. IV, prop. 37.

reguli, șase picioare și un inch (distanța lentilei de obiectul luminos) sînt față de douăsprezece picioare și un inch (distanța obiectului luminos de la focarul razelor de refrangibilitate medie) în raportul  $1/2$ , iar a  $27 \frac{1}{2}$ -a parte din șase picioare și un inch (distanța dintre lentilă și același focar) către distanța dintre focarul razelor celor mai refrangibile și focarul celor mai puțin refrangibile este, prin urmare, de  $5 \frac{17}{55}$  inch, adică foarte apropiată de  $5 \frac{1}{3}$  inch.

Pentru a ști dacă această măsurătoare este justă, am repetat experiența a doua și a opta cu lumină colorată, care era mai puțin compusă decît aceea pe care am folosit-o mai devreme. Am separat razele eterogene unele de altele prin metoda descrisă în experiența a unsprezecea, în așa fel ca să obțin un spectru colorat a cărui lungime să fie de aproximativ douăsprezece sau cincisprezece ori mai mare decît lățimea. Am lăsat să cadă acest spectru pe o carte tipărită și, așezînd lentila sus-amintită la distanța de șase picioare și un inch de acest spectru ca să formeze imaginile literelor luminate de partea cealaltă la aceeași distanță a lentilei, am găsit că imaginile literelor luminate cu albastru erau mai apropiate de lentilă decît cele luminate cu roșu-încis cu aproximativ trei inch sau trei și un sfert, pe cînd imaginile literelor luminate cu indigo și violet apăreau atît de confuz și de neclare, încît nu le-am putut citi. Apoi, examinînd prisma, am găsit că era plină de vine de la un capăt la celălalt al sticlei, astfel că refracția nu putea fi regulată. De aceea am luat altă prismă fără vine și în locul literelor am întrebuițat două sau trei linii negre paralele, puțin mai largi decît caracterul literelor; lăsînd să cadă culorile pe aceste linii astfel încît liniile să treacă de-a lungul culorilor de la un capăt la celălalt al spectrului, am constatat că focarul unde indigoul sau limita dintre această culoare și violet face ca imaginea liniilor negre să fie mai distinctă este cu aproximativ patru sau  $4 \frac{1}{4}$  inch mai apropiat de lentilă decît focarul unde roșul-încis formează o imagine mai distinctă a acelorași linii negre. Violetul era atît de slab și de întunecat, încît n-am putut distinge clar imaginea liniilor pe această culoare; de aceea, avînd în vedere că prisma era făcută dintr-o sticlă de culoare închisă care înclina spre verde, am luat o altă prismă din sticlă clară albă; dar spectrul culorilor format de această prismă avea fîșii albe lungi de lumină pornind de la ambele capete ale culorilor, ceea ce m-a făcut să trag concluzia că ceva nu era în ordine; examinînd prisma, am descoperit două sau trei bule mici în sticlă care refractau lumina

neregulat. Din această cauză am acoperit partea respectivă a sticlei cu hîrtie neagră și, lăsînd să treacă lumina prin cealaltă parte a ei în care nu existau astfel de bule, spectrul de culori era lipsit de orice fîșii neregulate de lumină, cum doream. Dar încă violetul era atît de întunecos și slab, încît cu greu am putut vedea imaginile de linii pe violet și absolut de loc în partea lui întunecată, mai apropiată de capătul spectrului. De aceea am presupus că această culoare slabă și întunecată putea fi amestecată cu lumina dispersată care era refractată și reflectată neregulat în parte de cîteva bule mici din sticlă și, în parte, de inegalitățile șlefuirii ei. Lumina aceasta, deși era puțină, totuși fiind de culoare albă, putea fi suficientă ca să influențeze vederea atît de puternic, încît să perturbe aspectul acestei culori violet slabă și întunecată, și de aceea am încercat, ca în experiențele a 12-a, a 13-a și a 14-a, să văd dacă lumina acestei culori nu constă dintr-un amestec sensibil de raze eterogene și am aflat că nu. Refracțiile nu au făcut să iasă nici o altă culoare sensibilă din această lumină decît violet, așa cum ar fi făcut-o din lumina albă și, în consecință, din această lumină violetă dacă ea ar fi fost în mod sensibil compusă cu lumină albă. De aceea am tras concluzia că motivul pentru care nu putem vedea clar imaginile liniilor în această culoare era numai întunecimea acestei culori, slăbirea luminii ei și distanța ei de la axa lentilei; am împărțit deci acele linii negre paralele în părți egale și prin aceasta am putut afla ușor distanțele reciproce dintre culorile spectrului. Am notat distanțele lentilelor la focarele acelor culori, în care se formau clar imaginile liniilor. Apoi am examinat dacă diferența dintre aceste distanțe poate egala mărimea  $5 \frac{1}{3}$  inch, care reprezintă diferența maximă dintre distanțele de la focarul roșului celui mai închis și al violetului la lentilă, la fel cum distanța dintre culorile observate în spectru se află în același raport față de distanța cea mai mare dintre roșul cel mai închis și violet, măsurate pe laturile rectilinii ale spectrului, adică lungimea acelor laturi sau excesul lungimii spectrului față de lățimea lui. Observațiile mele au fost următoarele.

Cînd am observat și am comparat roșul cel mai închis perceptibil și culorile de la limita dintre verde și albastru, care pe laturile rectilinii ale spectrului erau depărtate de roșu, cu jumătatea lungimii acestor laturi, focarul unde limita dintre verde și albastru proiecta distinct imaginile liniilor pe hîrtie era mai apropiat de lentilă decît de focarul unde roșul proiecta distinct acele linii cu aproximativ  $2 \frac{1}{2}$  sau  $2 \frac{3}{4}$  inch. Căci uneori valorile măsurătorilor erau ceva mai mari,

alteori ceva mai mici, dar rareori difereau una de alta cu mai mult de  $1/3$  inch. Într-adevăr, era foarte dificil de definit pozițiile focarelor fără o mică eroare. Dacă culorile depărtate cu jumătatea lungimii imaginii (măsurate pe laturile rectilinii) dau o diferență de  $2 \frac{1}{2}$  sau  $2 \frac{3}{4}$  inch între distanțele focarelor lor la lentilă, atunci culorile depărtate cu întreaga lungime este posibil să dea o diferență de 5 sau  $5 \frac{1}{2}$  inch între aceste distanțe.

Aici însă trebuie să notăm că nu am putut vedea roșul chiar pînă la capătul spectrului, ci numai la centrul semicercului care mărginea acest capăt sau ceva mai departe; prin urmare, am comparat acest roșu nu cu culoarea care se găsea exact în mijlocul spectrului sau la granița dintre verde și albastru, ci cu aceea care cădea mai mult în albastru decît în verde. Deoarece am considerat că lungimea totală a culorilor nu este întreaga lungime a spectrului, ci lungimea laturilor lui rectilinii, completînd capetele semicirculare în cercuri cînd fiecare din culorile observate cădea în interiorul acelor cercuri, am măsurat distanța culorii respective la capătul semicircular al spectrului și, scăzînd jumătatea acestei distanțe din distanța măsurată a celor două culori, am luat restul ca distanță corectată; în aceste observații am considerat distanța corectată în locul diferenței dintre distanțele focarelor lor la lentilă. Într-adevăr, lungimea marginilor rectilinii ale spectrului ar fi întreaga lungime a tuturor culorilor dacă cercurile din care (după cum am arătat) constă acest spectru s-ar contracta și s-ar reduce la puncte fizice, la fel, această distanță corectată ar fi și în acest caz distanța reală dintre cele două culori observate.

Mai departe am observat că roșul cel mai închis care putea fi văzut și albastrul a cărui distanță corectată era a  $7/12$ -a parte din lumina laturilor rectilinii ale spectrului dădeau o diferență între distanțele focarelor lor la lentilă de aproximativ  $3 \frac{1}{4}$  inch, iar raportul  $7/12$ , era la fel ca raportul  $\frac{3 \frac{1}{4}}{5 \frac{4}{7}}$ .

Cînd am observat roșul cel mai închis care putea fi văzut și indigoul a cărui distanță corectată era  $8/12$  sau  $2/3$  din lungimea laturilor rectilinii ale spectrului, diferența distanțelor focarelor lor la lentilă era de aproximativ  $3 \frac{2}{3}$  inch, iar raportul  $2/3$  era la fel ca raportul  $\frac{3 \frac{2}{3}}{5 \frac{1}{2}}$ .

Cînd am observat roșul cel mai închis care putea fi văzut și acel indigo închis pentru care distanța corectată între una și alta era  $9/12$

sau  $3/4$  din lungimea laturilor rectilinii ale spectrului, diferența distanțelor focarelor lor la lentilă era de aproximativ 4 inch, raportul  $3/4$  fiind la fel ca raportul  $\frac{4}{5 \frac{1}{3}}$ .

Atunci când am observat roșul cel mai închis care putea fi văzut și acea parte a violetului care era cea mai apropiată de indigo, situat la o distanță corectată pînă la roșu de  $10/12$  sau  $5/6$  din lungimea laturilor rectilinii ale spectrului, diferența distanțelor focarelor lor la lentile era de aproximativ  $4 \frac{1}{2}$  inch, iar raportul  $5/6$  era la fel ca raportul  $\frac{4 \frac{1}{2}}{5 \frac{2}{5}}$ . Uneori când lentila era așezată în mod potrivit

astfel încît axa ei să fie îndreptată spre albastru și, în plus, toate lucrurile așezate cum trebuie, iar Soarele lumina clar, și mi-am apropiat ochiul foarte mult de hîrtia pe care lentila proiecta imaginile liniilor, am putut vedea destul de distinct imaginile liniilor pe partea violetului mai aproape de indigo; cîteodată le-am putut vedea chiar pe jumătatea violetului. Într-adevăr, făcînd aceste experiențe, am observat că apăreau distincte numai imaginile culorilor situate pe sau aproape de axa lentilei; astfel că, dacă albastrul sau indigoul erau pe axă, puteam vedea imaginile lor distinct, însă roșul apărea atunci mult mai puțin distinct decît înainte. În consecință, am încercat să fac ca spectrul culorilor să fie mai scurt decît înainte astfel încît ambele lui capete să poată fi mai aproape de axa lentilei. În acest caz lungimea lui devenea de aproximativ  $2 \frac{1}{2}$  inch, iar lățimea de aproximativ  $1/5$  sau  $1/6$  dintr-un inch. De asemenea, în loc de liniile negre pe care era proiectat spectrul, am făcut o singură linie neagră, mai largă decît acelea, astfel încît îi puteam vedea imaginea mai ușor, și am împărțit în părți egale această linie cu linii transversale scurte pentru a putea măsura distanțele culorilor observate. Astfel am putut vedea uneori imaginile acestei linii cu diviziunile ei aproape pînă în centrul capătului semicircular violet al spectrului și am făcut observațiile care vor urma.

Cînd am observat roșul cel mai închis și partea violetului a cărei distanță corectată pînă la el era de aproximativ  $8/9$  părți din laturile rectilinii ale spectrului, diferența distanțelor focarelor acelor culori la lentilă era odată  $4 \frac{2}{3}$ , altă dată  $4 \frac{3}{4}$  și altă dată  $4 \frac{7}{8}$  inch; raportul  $8/9$  era de  $4 \frac{2}{3}$ ,  $4 \frac{3}{4}$  sau respectiv  $4 \frac{7}{8}$  către  $5 \frac{1}{4}$  sau  $5 \frac{11}{32}$  sau  $5 \frac{11}{64}$

Cînd am observat roșul cel mai închis și violetul cel mai închis care putea fi văzut, culori ale căror distanțe corectate în situația cea mai favorabilă și cînd Soarele lumina foarte clar era de aproximativ 11/12 sau 15/16 părți din lungimea laturilor rectilinii ale spectrului colorat, am constatat că diferența dintre distanțele focarelor lor la lentilă era uneori  $4 \frac{3}{4}$ , alteori  $5 \frac{1}{4}$  și de cele mai multe ori aproximativ 5 inch și raportul 11/12 sau 15/16 era la fel ca raportul  $\frac{5}{5 \frac{1}{2}}$  inch sau  $5 \frac{1}{3}$  inch.

Prin această serie de experiențe m-am convins că, dacă lumina de la capetele adevărate ale spectrului ar fi fost suficient de puternică pentru a face ca imaginile liniilor negre să apară clare pe hîrtie, focarul celui mai închis violet s-ar fi aflat mai aproape de lentilă decît focarul celui mai închis roșu cu cel puțin  $5 \frac{1}{3}$  inch. Aceasta este o nouă dovadă că sinusurile de incidență și de refracție ale diverselor feluri de raze se află în același raport unul față de altul în refracțiile cele mai mici ca și în cele mai mari.

Am expus mai pe larg procedeul meu în efectuarea acestei experiențe delicate și obositoare pentru ca cei care vor încerca după mine să știe de cîtă atenție este nevoie pentru a o realiza cu succes. Iar dacă ei nu o vor putea face cu atîta succes ca mine, totuși pot trage concluzia din raportul distanței culorilor spectrului către diferența distanțelor focarelor lor la lentilă care ar fi rezultatul bun în cazul culorilor mai îndepărtate într-o experiență mai reușită. Dacă însă ei vor folosi o lentilă mai mare decît mine și o vor fixa de un băț lung și drept cu ajutorul căruia o pot îndrepta ușor și direct spre culoarea al cărei focar îl doresc, nu mă îndoiesc că experiența le va reuși mai bine decît mie. Căci eu am îndreptat axa cît am putut mai aproape de mijlocul culorilor, dar atunci — extremitățile neclare ale spectrului fiind îndepărtate de axă — lentilele proiectează imaginile lor pe hîrtie mai puțin distinct decît dacă axa ar fi fost îndreptată succesiv spre ele.

Din cele spuse este evident că razele care diferă în refrangibilitate nu converg în același focar, dar dacă ele vin dintr-un punct luminos de la aceeași depărtare dintr-o parte a lentilei, iar focarele se află de cealaltă parte, focarul razelor celor mai refrangibile va fi mai apropiat de lentilă decît al celor mai puțin refrangibile cu mai mult de a 14-a parte a întregii distanțe; dacă ele vin de la un punct luminos atît de îndepărtat de lentilă încît înainte de incidența lor pot fi considerate paralele, focarul razelor celor mai refrangibile va fi



mai aproape de lentilă decît focarul celor mai puțin refrangibile cu aproximativ a 27-a sau a 28-a parte din distanța totală de la ea. Diametrul cercului din spațiul mijlociu dintre cele două focare pe care le luminează cînd cad pe un plan oarecare perpendicular pe axă (care este cel mai mic cerc în care ele pot fi toate adunate) este aproape de a 55-a parte din diametrul aperturii lentilei. În acest fel e surprinzător faptul că telescoapele reprezintă obiectele atît de distinct cum se observă. Dar dacă toate razele de lumină ar fi la fel de refrangibile, eroarea provenind numai de la sfericitatea formelor lentilelor ar fi de cîteva sute de ori mai mică. Într-adevăr, dacă obiectivul telescopului este plan-convex, iar fața plană este îndreptată spre obiect și diametrul sferei din care această lentilă este doar un segment este  $D$ , iar semidiametrul aperturii lentilei este  $S$ , sinusul de incidență la ieșirea din sticlă în aer către sinusul de refracție se află în același raport ca  $I/R$ ; razele care vin paralele cu axa lentilei în locul unde imaginea obiectului este mai distinctă vor fi răspîndite toate pe un

mic cerc, al cărui diametru este foarte aproximativ  $\frac{Rq}{Iq} \times \frac{S_{cub}^*}{D_{pătrat}}$ ,

la fel cum pot deduce calculînd erorile razelor prin metoda seriilor infinite și lăsînd la o parte termenii ale căror valori sînt neglijabile.

Așa, de exemplu, dacă sinusul de incidență  $I$  este către sinusul de refracție  $R$  în raportul 20/31 și dacă diametrul  $D$  al sferei căreia îi aparține partea convexă a lentilei este de 100 picioare sau 1 200 inch, iar semidiametrul  $S$  al aperturii este de doi inch, atunci diame-

trul cercului mic (adică  $\frac{Rq \times S_{cub}}{Iq \times D_{pătrat}}$ ) va fi a  $\frac{31 \times 31 \times 8}{20 \times 20 \times 1\,200 \times 1\,200}$

(sau  $\frac{961}{72\,000\,000}$ ) -a parte dintr-un inch. Dar diametrul cercului mic, prin

care sînt răspîndite aceste raze de refrangibilitate inegală, va fi aproximativ a 55-a parte a aperturii lentilei obiective, care aici este de patru inch. De aceea eroarea provenită de la forma sferică a sticlei raportată la eroarea provenită de la refrangibilitatea diferită

a razelor este ca raportul între  $\frac{961}{72\,000\,000}$  și  $\frac{4}{55}$ , adică în raportul

1/5 449; prin urmare, fiind relativ atît de mică, nu merită a fi luată în considerare.

---

\*Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea I, secț. IV, prop. 31.

Dar, veți spune, dacă erorile cauzate de refrangibilitatea diferită sînt așa de mari, cum se face că obiectele apar prin telescoape atît de distincte? Eu răspund că aceasta e din cauză că razele defectuoase nu sînt răspîndite uniform pe întreg spațiul circular, ci sînt adunate infinit mai dens în centru decît în orice altă parte a cercului și în drumul de la centru spre circumferință devin din ce în ce mai rare, astfel încît la circumferință devin infinit de rare; din cauza rarității lor nu sînt suficient de intense pentru a fi vizibile în afară de centru și foarte aproape de el. Fie  $ADE$  (fig. 27) unul dintre cercurile descrise cu centrul  $C$  și semidiametrul  $AC$ , fie  $BFG$  un cerc mai mic concentric cu primul, intersectînd cu circumferința sa diametrul  $AC$  în  $B$ , și fie  $N$  la jumătatea lui  $AC$ ; după calculul meu, raportul între densitatea luminii într-un loc oarecare  $B$  și densitatea ei în  $N$  va fi ca  $AB/BC$ ; lumina totală din interiorul cercului mai mic  $BFC$  va fi către lumina totală din cercul mai mare  $AED$  în raportul în care se află diferența pătratului lui  $AC$  față de pătratul lui  $AB$  către pătratul lui  $AC$ . Dacă, de exemplu,  $BC$  este a cincea parte a lui  $AC$ , lumina va fi de patru ori mai densă în  $B$  decît în  $N$  și lumina totală din cercul mai mic va fi către lumina totală din cel mai mare ca  $9/25$ . De aici rezultă evident faptul că lumina din interiorul cercului mic trebuie să poată fi percepută mult mai puternic decît lumina slabă și dilatată de jur împrejur din spațiul dintre cercul mic și circumferința celui mai mare.

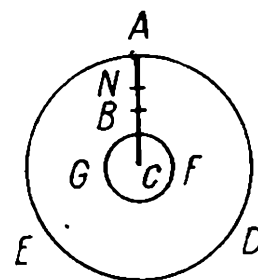


Fig. 27

Dar să mai notăm că cele mai luminoase dintre culorile prismatice sînt galbenul și portocaliul. Acestea afectează simțurile mai intens decît toate celelalte împreună, iar după ele urmează ca intensitate roșul și verdele. Albastrul comparat cu acestea este o culoare slabă și închisă, iar indigoul și violetul sînt mult mai închise și mai slabe, astfel că acestea, comparate cu culorile mai intense, abia pot fi luate în considerare. Imaginile obiectelor nu trebuie deci situate în focarul razelor de refrangibilitate medie, care sînt la limita dintre verde și albastru ci în focarul razelor situate la mijloc, între portocaliu și galben, acolo unde culoarea este mai luminoasă și mai strălucitoare, adică în galbenul cel mai strălucitor, care înclină mai mult spre portocaliu decît spre verde. Prin refracția acestor raze (al căror sinusuri de incidență și de refracție în sticlă sînt 17 și 11) trebuie măsurată refracția sticlei și a cristalului care se utilizează în optică. Să așe-

zăm deci imaginea obiectului în focarul acestor raze; atunci tot galbenul și portocaliul va cădea în interiorul unui cerc al cărui diametru este de aproximativ a 250-a parte din diametrul aperturii sticlei. Dacă adăugați jumătatea mai luminoasă a roșului (mai aproape de portocaliu) și jumătatea mai luminoasă a verdelui (mai apropiată de galben), aproximativ trei cincimi a luminii acestor două culori vor cădea în același cerc, iar două cincimi vor cădea în afară de jur împrejur; cele care cad în afară vor fi răspândite într-un spațiu aproape tot atît de mare ca și cele care cad în interior, și de aceea în general vor fi aproape de trei ori mai rare. Din cealaltă jumătate a roșului și verdelui (adică a roșului foarte închis și a verdelui de culoarea salciei) aproape un sfert va cădea în interiorul acestui cerc și trei pătrimi în afara lui, iar cele care cad în afară vor fi răspândite pe un spațiu aproximativ de patru sau de cinci ori mai mare decît cele care cad în interior; de aceea în general sînt mai rare și, dacă le comparăm cu lumina totală din interior, vor fi aproximativ de 25 de ori mai rare decît toate luate în general sau mai bine de 30 sau 40 de ori mai rare, din cauză că roșul închis de la capătul spectrului de culori format cu ajutorul unei prisme este foarte îngust și rar, iar verdele de culoarea salciei este ceva mai rar decît portocaliul și galbenul. De aceea lumina acestor culori, fiind cu mult mai rară decît cea din interiorul cercului, va afecta mai slab simțurile, în special pentru că roșul închis și verdele de culoarea salciei al acestei lumini sînt culori mult mai închise decît celelalte. Din același motiv, albastrul și violetul fiind culori mult mai închise decît acestea și mult mai puțin intense, pot fi neglijate. Lumina densă și strălucitoare din cerc va întuneca lumina rară și slabă a culorilor închise din jurul lui, făcîndu-le aproape imperceptibile. Prin urmare, imaginea perceptibilă a unui punct luminos este doar cu ceva mai largă decît un cerc al cărui diametru este a 250-a parte din diametrul aperturii lentilei obiective a unui telescop bun sau nu cu mult mai largă dacă nu considerați și lumina slabă și întunecoasă cețoasă de jur împrejurul ei pe care un observator abia o poate vedea. De aceea într-un telescop a cărei apertură este de patru inch și lungimea de o sută de picioare, imaginea nu depășește  $2''45'''$  sau  $3''$ . Iar într-un telescop a căruia apertură este de doi inch și lungimea de 20 sau 30 de picioare, ea poate fi de  $5''$  sau  $6''$  și rareori mai mare. Aceasta corespunde bine experienței: într-adevăr, unii astronomi au aflat diametrele stelelor fixe cu telescoape de lungime între 20 și 60 de picioare ca fiind de aproximativ  $5''$  sau  $6''$  ori cel mult  $8''$  sau  $10''$  în diametru. Dar dacă lentila-ocular se

colorează cu funingine de lampă sau de torță pentru a întuneca lumina stelei, lumina mai slabă de la circumferința stelei încetează, a fi vizibilă, iar steaua (dacă lentila este suficient de înnegrită cu funingine) apare mai mult asemănătoare cu un punct matematic. Din același motiv, o parte enormă a luminii din jurul fiecărui punct luminos va fi mai puțin discernibilă în telescoapele mai scurte decât în cele mai lungi, fiindcă cele mai scurte transmit mai puțină lumină ochiului.

Stelele fixe, datorită distanțelor lor enorme, apar ca puncte dacă lumina lor nu este dilatată prin refracție; se poate constata și din faptul că Luna, trecînd peste ele, le eclipsează, dar lumina lor nu dispare gradat, ca a planetelor, ci dintr-o dată, iar la sfîrșitul eclipsei devin vizibile tot dintr-o dată sau, desigur, într-un timp mai scurt decât o secundă; refracția atmosferei Lunii prelungește însă puțin timpul după care lumina stelei dispare și după care ea devine iarăși vizibilă.

Dacă presupunem că imaginea perceptibilă a unui punct luminos este chiar de 250 de ori mai mică decât apertura lentilei, totuși această imagine va fi cu mult mai mare decât dacă ea ar proveni de la forma sferică a lentilei, căci, chiar dacă razele nu ar avea refrangibilitate diferită, lățimea acestei imagini printr-un telescop pe 100 de picioare, a cărei apertură este de 4 inch, ar fi a  $\frac{961}{72\,000\,000}$  -a parte dintr-un inch, așa cum reiese din calculul precedent. De aceea, în acest caz, cele mai mari erori care provin de la forma sferică a lentilei vor fi față de cele mai mari erori observabile care provin de la refrangibilitatea diferită a razelor în raportul între  $\frac{961}{72\,000\,000}$  și cel mult

$\frac{4}{250}$ , adică numai ca 1/1 200. Aceasta arată în mod suficient că nu formele sferice ale lentilelor, ci refrangibilitatea diferită a razelor este ceea ce împiedică perfecționarea telescoapelor.

Mai există și un alt argument din care poate apărea că refrangibilitatea diferită a razelor este adevărata cauză a imperfecțiunii telescoapelor. Într-adevăr, erorile razelor provenind din formele sferice ale lentilelor-obiectiv, sînt proporționale cu cuburile aperturilor lentilelor-obiectiv, și de aceea, pentru a face ca telescoapele de diferite lungimi să mărească cu egală claritate apertura lentilelor-obiectiv,

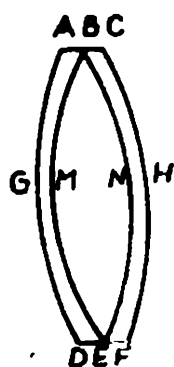


Fig. 28

forța sau puterea de mărire trebuie să fie proporțională cu cuburile rădăcinilor pătrate ale lungimilor lor, ceea ce nu corespunde experienței. Dar erorile razelor provenind de la refrangibilitatea lor diferită sînt proporționale cu aperturile lentilelor-obiectiv; de aceea pentru a face ca telescoapele de diferite lungimi să mărească cu egală claritate, aperturile și puterile lor trebuie să fie proporționale cu rădăcinile pătrate ale lungimilor lor; aceasta corespunde bine, după cum se știe, cu experiența. De exemplu, un telescop de 64 de picioare lungime și cu o apertură de  $2\frac{2}{3}$  inch mărește de aproximativ 120 de ori, cu aceeași claritate ca unul cu o lungime

de un picior și cu o apertură de  $\frac{1}{3}$  dintr-un inch care mărește de 15 ori.

Dacă nu ar exista această refrangibilitate diferită a razelor, telescoapele ar putea fi duse la o perfecțiune mai mare decît cea descrisă de mine, compunînd lentila obiectiv din două lentile cu apă între ele. Fie *ADFC* (fig. 28) lentila obiectiv formată din două lentile *ABED* și *BEFC*, cu aceeași convexitate pe fețele exterioare *AGD* și *CHF* și aceeași concavitate pe cele interioare *BME*, *BNE*, cu apă în concavitatea *BMEN*. Fie sinusul de incidență la ieșirea din sticlă în aer egal cu raportul  $I/R$ , iar din apă în aer cu raportul  $K/R$ , și deci la ieșirea din sticlă în apă cu raportul  $I/K$ ; fie *D* diametrul sferei din care s-au șlefuit fețele convexe *AGD* și *CHF*, iar diametrul sferei din care s-au șlefuit fețele concave *BME* și *BNE* față de *D* să se afle în același raport în care se află rădăcina cubică a lui  $KK - KI$  către rădăcina cubică a lui  $RK - RI$ ; refracțiile de pe fețele concave ale lentilelor vor corecta foarte mult erorile refracțiilor de pe fețele convexe în măsura în care ele provin din sfericitatea figurii. În acest fel s-ar putea ajunge la o perfecționare suficientă a telescoapelor dacă nu ar exista refrangibilitate diferită a diverselor feluri de raze. Din cauza acestei refrangibilități diferite, încă nu văd vreun alt mijloc de îmbunătățire a telescoapelor numai prin refracții decît acela al măririi lungimii lor, pentru care scop ultima invenție a lui *Hugenius* \* pare a fi foarte potrivită \*\*. Într-adevăr, tuburile prea lungi sînt greoaie și rareori ușor de manevrat, iar din cauza lungimii lor se îndoaie ușor și oscilează, astfel că se produce o continuă tremurare a obiectelor, din care cauză

\* Numele latinizat a lui Huygens.

\*\* Ocularul compus a lui Huygens.

ele cu greu pot fi văzute distinct, în timp ce cu ajutorul dispozitivului său lentilele sînt ușor de manevrat iar lentila-obiectiv, fiind fixată pe un stîlp vertical puternic, devine mai fixă.

Văzînd deci că perfecționarea telescoapelor de lungimi date prin refracție este foarte greu de obținut, am imaginat odinioară \* perspectiva \*\* folosirii reflexiei unui metal concav în locul lentilei-obiectiv. Diametrul sferei după care era șlefuit metalul concav era de aproximativ 25 de inch și, în consecință, lungimea instrumentului aproximativ de șase inch și un sfert. Lentila-ocular era plan-convexă, iar diametrul sferei după care s-a lucrat partea convexă era aproximativ de  $1/5$  dintr-un inch sau ceva mai mic, și, în consecință, mărea de 30 sau 40 de ori. Printr-o altă metodă de măsurare am găsit că el mărea de aproximativ 35 de ori. Metalul concav avea o apertură de un inch și o treime; dar aceasta nu era limitată de un cerc opac care să acopere marginea metalului de jur împrejur, ci de un cerc opac plasat între lentila ocular și ochi și avînd în mijloc un mic orificiu rotund pentru ca razele să treacă prin el la ochi. Într-adevăr, acest cerc, fiind așezat aici, oprește o mare cantitate din lumina difuză, care altfel ar fi deranjat vederea. Comparînd acest instrument cu unul de foarte bună perspectivă cu o lungime de patru picioare realizat cu o lentilă-ocular concavă, am putut citi cu instrumentul meu la o distanță mai mare decît cu cel cu lentila. Totuși, obiectele apăreau mai întunecate cu el decît cu cel cu lentilă, din cauză, pe de o parte, că s-a pierdut mai multă lumină prin reflexia în metal decît prin refracția în lentilă și, pe de o parte, că instrumentul meu a fost supradimensionat. Dacă ar fi mărit numai de 30 sau 25 de ori, ar fi făcut ca obiectul să apară mai viu și mai plăcut. Am făcut două astfel de instrumente acum vreo 16 ani și mai am încă la mine unul dintre ele, prin care

---

\* Newton a început să se ocupe de problema telescopului cu oglindă în anul 1688. El nu s-a considerat inventatorul acestui telescop afirmînd că a cunoscut descrierea unui astfel de instrument din *Optica promota* a lui James Gregory, tipărită în 1663, iar el numai a modificat schema acestuia perfecționînd-o. Newton are însă față de Gregory avantajul că nu s-a limitat la schemă, ci a construit primul telescop cu oglindă care se numește *telescopul lui Newton*. Instrumentul a fost confecționat de însuși Newton și descris de el într-o scrisoare din 23 februarie 1669, adresată unui prieten. La sfîrșitul aceluiași an a trimis un exemplar Societății Regale, care în ședința sa din 11 ianuarie l-a ales membru al ei. Acest exemplar (al doilea confecționat de mîna sa proprie) se află în Biblioteca Societății Regale și poartă inscripția: *Invented by Isaac Newton and made with his own hands, 1671.*

\*\* Newton ca și ceilalți contemporani ai săi a folosit, termenul de *perspective* sau *prospective* în înțelesul de dispozitiv, proiect sau schemă.

pot dovedi adevărul celor scrise, însă acesta nici nu e atît de bun ca primul. Metalul concav şi-a pierdut luciul de cîteva ori şi a fost lustruit din nou prin frecare cu o piele foarte moale. Cînd am făcut lucrul acesta, un meşter din Londra a încercat să-l imite; dar, folosind un alt mod de şlefuire decît mine, a rămas cu mult înapoia rezultatelor mele, după cum am aflat mai tîrziu, discutînd cu un muncitor angajat la el. Procedeu meu de şlefuire era următorul. Am luat două plăci rotunde de cupru, fiecare cu diametrul de şase inch, una convexă, cealaltă concavă, potrivite foarte exact una faţă de cealaltă. Pe cea convexă am frecat metalul obiectiv sau concav care trebuia să fie şlefuit pînă cînd lua forma celui convex şi era gata de şlefuit. Apoi am acoperit pe cel convex cu un strat subţire, picurînd pe el smoală topită şi încălzindu-l pentru a înmuia smoala, în timp ce îl frecam cu o bucată concavă de cupru umezită pentru a întinde smoala uniform pe toată partea convexă. Astfel, lucrînd-o bine, am făcut-o atît de subţire ca o piesă de patru pence, iar după ce metalul convex a fost răcit l-am frecat din nou pentru a-i da forma cea mai exactă posibilă. Apoi am luat chit, pe care l-am făcut foarte fin prin spălarea lui de particulele mai mari, şi, întinzînd puţin din acesta pe smoală, l-am frecat de smoală cu partea concavă a cuprului, pînă cînd nu mai dădea nici un pocnet, apoi am frecat pe smoală metalul obiectiv cu o mişcare rapidă timp de vreo două sau trei minute, apăsîndu-l puternic pe ea. Am pus apoi chit proaspăt pe smoală şi l-am frecat din nou pînă cînd nu mai pocnea şi apoi am frecat metalul obiectiv pe ea ca şi mai înainte. Această operaţie am repetat-o pînă ce metalul era şlefuit, frecîndu-l ultima dată cu toată puterea cîtăva vreme şi suflînd deseori asupra smoalei pentru a-i menţine umezeala fără a-l mai acoperi cu chit proaspăt. Metalul-obiectiv avea doi inch lăţime şi aproximativ o treime de inch grosime, pentru a-l feri de îndoire. Aveam două metale de acest fel şi, cînd le-am şlefuit pe amîndouă, am încercat care este cel mai bun şi l-am prelucrat pe celălalt din nou pentru a vedea dacă l-aş putea face mai bun decît acela pe care-l aveam. În acest fel, prin multe încercări, mi-am însuşit metoda de şlefuire pînă cînd am făcut cele două telescoape de reflexie de care am vorbit mai sus. Această metodă de şlefuire se va învăţa mai bine prin practică repetată decît prin descrierea mea. Înainte de a freca metalul obiectiv pe smoală, totdeauna am frecat chitul pe ea cu cuprul concav pînă ce o făceam să pocnească, fiindcă, dacă părţicelele de chit nu erau făcute prin acest mod să se fixeze reşede în chit, ele, prin rostogolirea înapoi

și încolo, ar fi zgîriat și, frecînd metalul obiectiv, l-ar fi umplut în întregime cu găuri mici.

Dar fiindcă metalul este mai greu de șlefuit decît sticla și apoi foarte capabil de a-și pierde luciul și nu reflectă așa de multă lumină ca sticla amalgamată, aș propune să se folosească în locul metalului o sticlă șlefuită, concavă pe partea anterioară și tot atît de convexă pe cea posterioară și amalgamată pe partea convexă. Sticla trebuie să fie pretutindeni exact de aceeași grosime, altfel obiectele se vor vedea colorate și neclare. Cu o astfel de sticlă am încercat acum cinci sau șase ani în urmă să fac un telescop cu reflexie de patru picioare lungime care să mărească de aproximativ 150 de ori și m-am convins că nu lipsește altceva decît un maestru bun care să ducă planul la perfecțiune. Căci sticla fiind lucrată de unul din meșterii noștri din Londra în același fel în care șlefua sticla pentru telescoape și cu toate că părea la fel de bine lucrată cum erau de obicei lentilele-obiectiv, totuși, cînd era amalgamată, reflexia scotea la iveală nenumărate inegalități pe toată întinderea sticlei. Din cauza acestor inegalități, obiectele apăreau neclare în acest instrument. Erorile razelor reflectate cauzate de unele inegalități ale sticlei sînt aproximativ de șase ori mai mari decît erorile razelor refractate cauzate de inegalități asemănătoare. Din această experiență m-am mai convins că reflexia pe partea concavă a sticlei, de care mă temeam să nu strice viziunea, nu o influențează atît de sensibil și, în consecință, nimic nu lipsește pentru perfecționarea acestor telescoape decît un muncitor bun care să poată să șlefuiască și să polarizeze sticle exact sferice. Eu am îmbunătățit odinioară considerabil o lentilă obiectiv a unui telescop de patrusprezece picioare, executată de un meșter din Londra, șlefuiind-o pe smoală cu chit și apăsînd-o foarte ușor în timpul șlefuirii pentru ca chitul să n-o zgîrie. Încă nu am încercat să văd dacă acest procedeu nu e destul de bun pentru șlefuirea acestor sticle de reflexie. Dar cel care va încerca acest mod de șlefuire sau altul pe care îl crede mai bun va face bine să-și prepare sticlele pentru polizare frecîndu-le fără violența cu care muncitorii noștri din Londra presează sticla în timpul șlefuirii. Într-adevăr, printr-o astfel de apăsare violentă, sticlele sînt în stare să se îndoie puțin prin șlefuire și o astfel de îndoire le va strica forma. De aceea, pentru a atrage atenția asupra acestor sticle reflectatoare meșterilor care vor să se ocupe cu oglinzile reflectatoare, voi descrie acest instrument optic în propoziția următoare.



## PROPOZIȚIA VIII. PROBLEMA II

*Scurtarea telescoapelor*

Fie  $ABCD$  (fig. 29) o oglindă sferică concavă în partea anterioară  $AB$  și atât de convexă în cea posterioară  $CD$  încât să aibă pretutindeni aceeași grosime. Să nu fie mai groasă într-o parte decât în cealaltă ca să nu facă ca obiectele să apară colorate și neclare

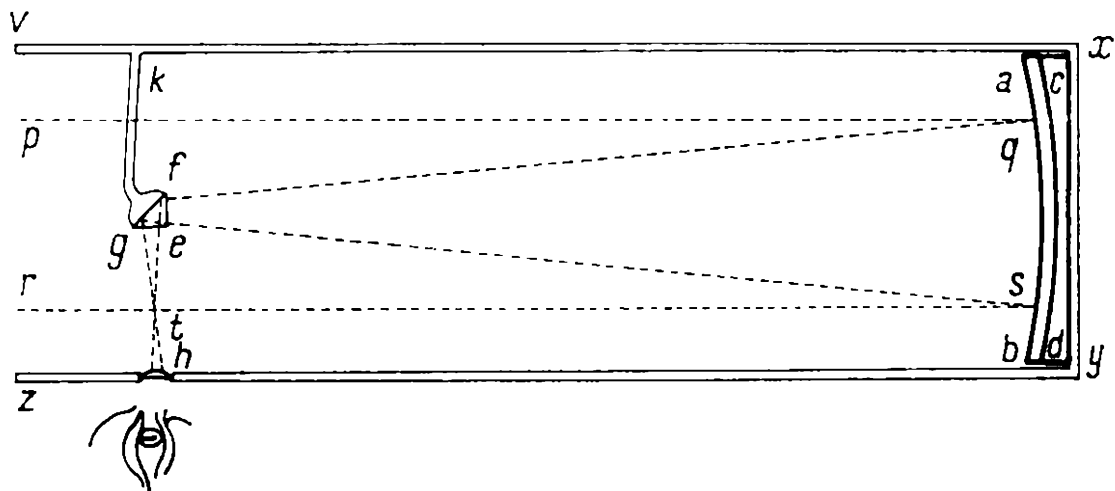


Fig. 29

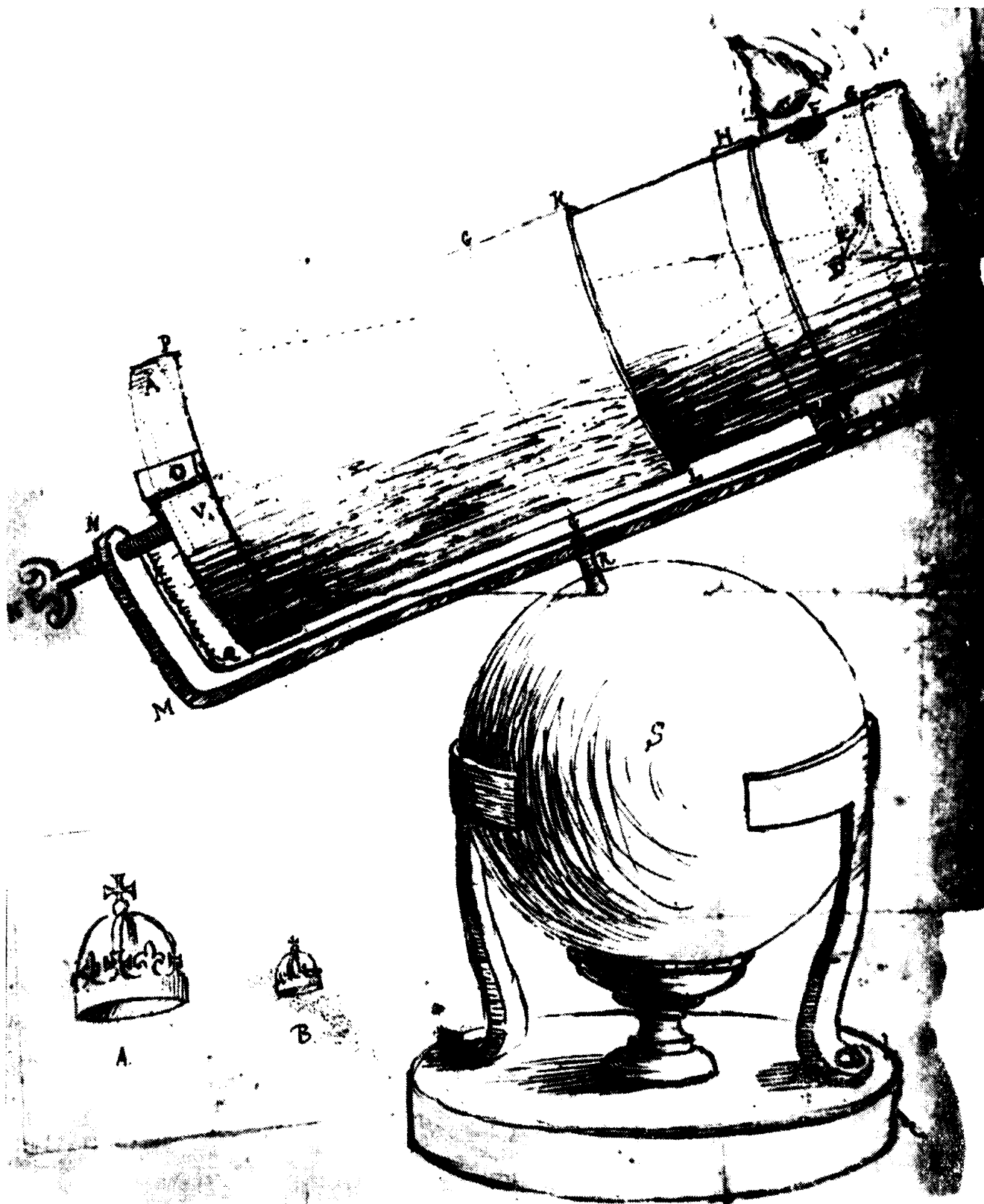
și să fie foarte bine lucrată și amalgamată în partea posterioară; s-o plasăm în tubul  $VXYZ$ , care trebuie să fie foarte bine înnegrit în interior. Fie  $EFG$  o prismă de sticlă sau de cristal situată aproape de celălalt capăt al tubului, în mijlocul lui, prin mijlocirea unui mâner de alamă sau de fier, la capătul plat al căruia este fixată. Fie prisma dreptunghiulară în  $E$  și celelalte două unghiuri din  $F$  și  $G$  exact egale între ele și, în consecință, fiecare egal cu o jumătate de unghi drept și fie fețele plane  $FE$  și  $GE$  pătrate și deci fața a treia  $FG$  un paralelogram dreptunghic, a cărui lungime este către lățime în același raport ca rădăcina pătrată a raportului  $2/1$ . S-o plasăm în tub în așa fel ca axa oglinzii să poată trece perpendicular prin mijlocul feței pătrate  $EF$  și, în consecință, sub un unghi de  $45^\circ$  prin mijlocul feței  $FG$  și fie fața  $EF$  întoarsă spre oglindă, iar distanța prisme la oglindă să fie astfel încât razele de lumină  $PQ$ ,  $RS$  etc., care cad pe oglindă paralel cu axa, să poată intra în prismă prin fața  $EF$  și să se reflecte pe latura  $FG$  și apoi să iasă din ea prin latura  $GE$  spre punctul  $T$ , care trebuie să fie focarul comun al oglinzii

$ABDC$  și al unui ocular plan-convex  $H$  prin care aceste raze trebuie să ajungă la ochi. Razele la ieșirea lor din oglindă trec printr-un orificiu rotund și îngust sau printr-o apertură făcută într-o placă mică de plumb, alamă sau argint cu care trebuie acoperită sticla; orificiul nu trebuie să fie mai mare decât este necesar ca să poată trece suficientă lumină prin el. În acest fel obiectul apare distinct, căci placa este făcută să intercepteze toată partea defectuasă a luminii care vine de la marginile oglinzii  $AB$ . Un astfel de instrument foarte bine cunoscut, dacă are lungimea de șase picioare (socotind lungimea de la oglindă la prismă și apoi la focarul  $T$ ), va avea o apertură de șase inch la oglindă și va mări între două și trei sute de ori. Dar orificiul  $H$  limitează apertura mai avantajos decât dacă ar fi așezat la oglindă. Dacă instrumentul se lungeste sau se scurtează, apertura trebuie să fie proporțională cu cubul rădăcinii a patra a lungimii, iar mărimea cu apertura. Este însă convenabil ca oglinda să fie cel puțin cu un inch sau cu doi mai largă decât apertura, iar lentila oglinzii suficient de groasă ca să nu se încovoie la prelucrare. Prisma  $EFG$  nu trebuie să fie mai mare decât e necesar, iar fața ei posterioară  $FG$  nu trebuie să fie amalgamată, căci și fără mercur va reflecta toată lumina care cade de pe oglindă pe ea.

În acest instrument, obiectul va apărea răsturnat, el putînd însă deveni drept, făcînd ca fețele pătratice  $EF$  și  $EG$  ale prismei  $EFG$  să nu fie plane, ci sferice convexe, pentru ca razele să se poată încrucișa atît înainte de a ajunge la ea, cît și după aceea între ea și ocular. Este de dorit ca instrumentul să aibă o apertură mai largă ceea ce se poate face și prin compunerea oglinzii din două lentile cu apă între ele.

Dacă teoria construirii telescoapelor ar putea fi introdusă cu timpul complet în practică, totuși sînt anumite limite dincolo de care telescoapele nu pot fi perfecționate. Într-adevăr, aerul prin care privim stelele este într-o tremurare continuă, după cum se poate vedea din mișcarea tremurătoare a umbrei aruncate de turnurile înalte și de scînteierea stelelor fixe. Dar aceste stele nu scînteiază cînd le privim prin telescoape de apertură largă. Căci razele de lumină care trec prin diverse părți ale aperturii tremură fiecare în parte și, prin tremurăturile variate și uneori contrare, cad în același timp în diferite puncte din fundul ochiului și mișcările lor tremurătoare sînt prea repezi și confuze pentru a fi percepute separat. Toate aceste puncte luminate constituie un punct luminos larg, compus

din această mulțime de puncte amestecate confuz și insensibil între ele cu tremurări scurte și repezi, și deci fac ca steaua să apară mai largă decât este și fără nici o tremurare în întregul ei. Telescoapele lungi pot face ca obiectele să pară mai luminoase și mai largi decât o pot face cele scurte, dar nu pot fi perfecționate în așa fel ca să înlăture amestecul razelor care ia naștere din tremurările atmosferei. Singurul remediu este un aer mai senin și mai liniștit, cum probabil se poate găsi pe vîrfurile munților celor mai înalți deasupra norilor mai denși.



Planşa IV. — Desenul telescopului de refracție al lui Newton.

# Cartea întâi a OPTICII

## PARTEA II

### PROPOZIȚIA I. TEOREMA I

*Fenomenele culorilor în lumină refractată sau reflectată nu sînt cauzate de noi modificări ale luminii imprimate diferit, potrivit diferitelor limite dintre lumină și umbră.*

#### Proba experimentală

*Experiența 1.* Dacă soarele luminează într-o cameră foarte întunecată printr-o deschidere alungită  $F$  (fig. 1), a cărei lățime să fie de o șesime sau o optime de inch sau ceva mai mică, iar fasciculul său  $FH$  pătrunde mai întâi printr-o prismă foarte groasă  $ABC$  situată la o distanță de vreo 20 de picioare de deschidere și paralelă cu ea și apoi (partea albă a lui) printr-o deschidere alungită  $H$ , a cărei lățime este de aproximativ a patra sau a șasea parte dintr-un inch, făcută într-un corp negru opac  $CI$  și așezat la o distanță de două sau trei picioare de prismă într-o poziție paralelă atît cu prisma cît și cu deschiderea precedentă, dacă această lumină albă transmisă astfel prin deschiderea  $H$  cade, în sfîrșit, pe o hîtrie albă  $pt$  plasată în spatele deschiderii  $H$  la o distanță de trei sau patru picioare de ea, ea prezintă acolo culorile obișnuite ale prisme, cum ar fi roșul în  $t$ , galbenul în  $s$ , albastrul în  $q$  și violetul în  $p$ ; puteți cu ajutorul unei sîrme de fier sau al vreunui alt corp asemănător opac, avînd grosimea cam de o zecime de inch, să interceptați razele din  $k$ ,  $l$ ,  $m$ ,  $n$  sau să eliminați unele din culorile din  $t$ ,  $s$ ,  $r$ ,  $q$  sau  $p$  pe cînd celelalte culori rămîn pe hîrtie ca mai înainte; cu un ob-

stacol ceva mai mare puteți înlătura oricare două, trei sau patru culori împreună, restul rămânând. În acest fel poate orice culoare să ajungă la fel ca violetul la limita umbrei dinspre  $t$  și de asemenea oricare dintre ele se poate mărgini cu umbra făcută în interiorul

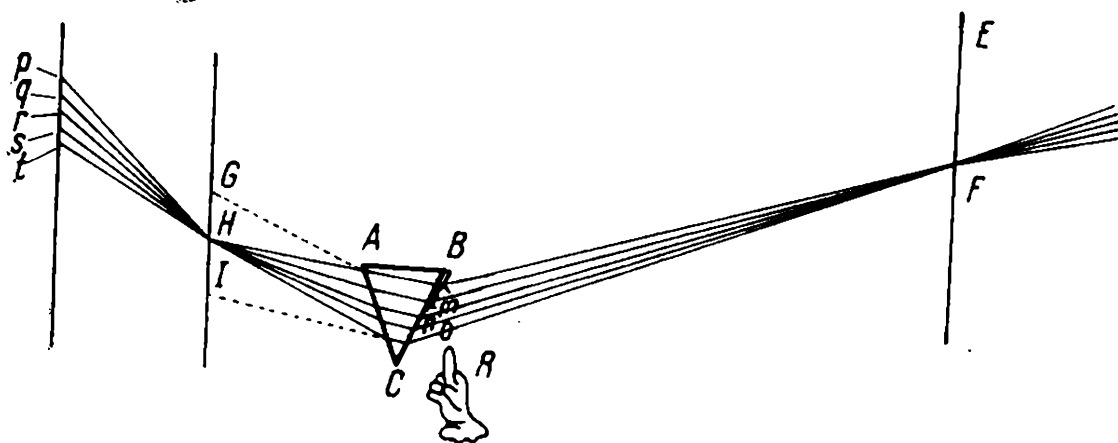


Fig. 1

culorilor de obstacolul  $R$  care interceptează o parte intermediară a luminii, în fine oricare dintre ele, fiind lăsată singură, se poate mărgini cu umbra de ambele părți. Toate culorile fără nici o deosebire pot fi mărginite de umbră și deci diferențele dintre culori nu provin din diferitele limitări cu umbra, prin care lumina este modificată în mod variat, cum era pînă acum opinia filozofilor. Făcînd aceste încercări, e de observat că cu cît deschiderile  $F$  și  $H$  sînt mai înguste, iar intervalele dintre ele și prismă mai mari și camera mai întunecată, cu atît reușește mai bine experiența, admițînd că lumina nu este micșorată atît de mult încît culorile din  $pt$  să nu fie suficient de vizibile. E greu de procurat o prismă de sticlă solidă destul de groasă pentru această experiență și, prin urmare, trebuie făcut un vas prismatic din plăci de sticlă șlefuită chituite împreună și umplut cu apă sarată sau ulei limpede.

*Experiența 2.* Într-o cameră întunecată, printr-un orificiu circular  $F'$  (fig. 2) cu o lărgime de o jumătate de inch să treacă lumina solară mai întîi prin prismă  $ABC$ , situată în dreptul orificiului, apoi printr-o lentilă  $PT$ , ceva mai largă de patru inch și situată la vreo opt picioare de prismă, și să conveargă în focarul lentilei  $O$ , depărtat de prismă cu trei picioare, și apoi să cadă pe o hîrtie albă  $DE$ . Cînd această hîrtie era perpendiculară pe lumina incidentă, așa cum este reprezentată în poziția  $DE$ , toate culorile de pe ea apăreau în  $O$  albe. Dacă însă hîrtia era rotită în jurul unei

axe paralele cu prisma și mai înclinată față de lumină, așa cum este reprezentată în pozițiile  $de$  și  $\delta e$ , aceeași lumină apărea într-un caz galbenă și roșie, în celălalt albastră. Aici una și aceeași parte a luminii apărea într-unul și același loc, potrivit diferitelor înclinări

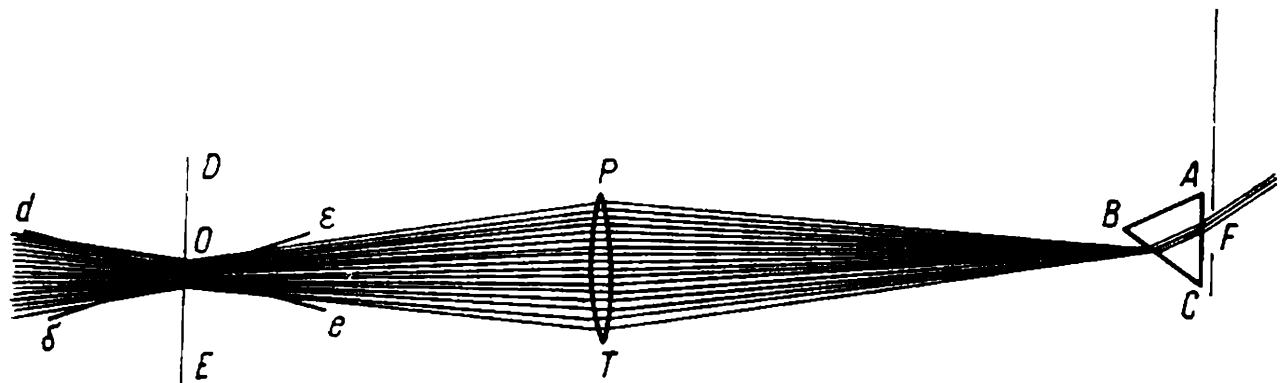


Fig. 2

ale hîrtiei, într-un caz albă, în altul galbenă sau roșie, în al treilea albastră, în timp ce limita dintre lumină și umbră și refracția prisme în toate aceste cazuri rămîne aceeași.

*Experiența 3.* O altă experiență de acest fel poate fi realizată cu mult mai ușor după cum urmează. Să lăsăm ca un fascicul larg

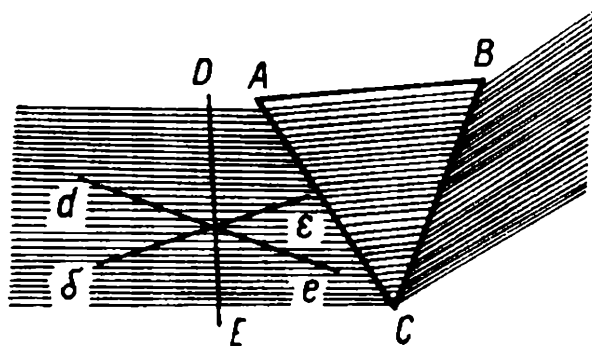


Fig. 3

de lumină solară care intră într-o cameră întunecată printr-o deschidere în oblonul ferestrei să se refracte printr-o prismă groasă  $ABC$  (fig. 3) al cărei unghi de refracție  $C$  este mai mare de 60 de grade și imediat ce iese din prismă să cadă pe hîrtia albă  $DE$ , lipită pe un plan rigid. Această lumină, cînd hîrtia este perpendiculară pe ea, după cum este reprezentat în  $DE$ , va apărea pe hîrtie perfect albă; dacă însă hîrtia este înclinată foarte mult față de ea în așa fel

că rămîne încontinuu paralelă cu axa prismei, albul întregii lumini de pe hîrtie va trece, după înclinarea hîrtiei încoace și încolo, sau în galben și roșu, ca în poziția *de*, sau în albastru și violet, ca în poziția  $\delta\epsilon$ . Dacă lumina înainte de a cădea pe hîrtie este refractată la fel de două ori prin două prisme paralele, culorile vor deveni mai evidente. Aici toate părțile din mijlocul fasciculului larg de lumină albă care cade pe hîrtie devin colorate peste tot cu o culoare uniformă fără ca vreo margine a umbrei s-o modifice, culoarea fiind totdeauna aceeași atît în mijlocul hîrtiei, cît și la margini, și această culoare se schimbă după înclinarea variată a hîrtiei reflectatoare fără vreo schimbare în refracție sau în umbră sau în lumina care cade pe hîrtie. În consecință, aceste culori trebuie deduse din alte cauze decît din noile modificări ale luminii prin refracții și umbre.

Se pune întrebarea : care este atunci cauza lor ? Eu voi răspunde că hîrtia în poziția sa *de*, fiind mai oblică față de razele mai refrangibile, decît față de cele mai puțin refrangibile, este luminată mai intens de ultimele decît de primele și deci cele mai puțin refrangibile sînt predominante în lumina reflectată. Acolo unde ele sînt predominante în vreo lumină o colorează în roșu sau galben, după cum apare într-o anumită măsură din propoziția întîi a primei părți a acestei cărți și va apărea și mai complet mai tîrziu. Contrarul se întîmplă în poziția  $\delta\epsilon$  de pe hîrtie, cînd sînt predominante razele cele mai refrangibile, care totdeauna colorează lumina în albastru și violet.

*Experiența 4.* Culorile baloanelor de săpun cu care se joacă copiii variază și-și schimbă diferit poziția fără nici o legătură cu marginea sau cu umbra. Dacă acoperim un astfel de balon de săpun cu o sticlă concavă spre a-l feri de agitația vîntului sau de mișcarea aerului, culorile își vor schimba încet și regulat poziția, chiar dacă ochiul, balonul de săpun și toate corpurile care emit vreo lumină sau aruncă vreo umbră rămîn nemișcate. Prin urmare, culorile lor se nasc dintr-o cauză regulată care nu depinde de nici o margine de umbră. În cartea următoare se va arăta care este această cauză.

La aceste experiențe se poate adăuga experiența a zecea din prima parte a cărții întîi, unde lumina solară care intră într-o cameră întunecată, trecînd prin suprafețele paralele a două prisme reunite în forma unui paralelipiped, la ieșirea ei din prismă devenea cu totul galbenă sau roșie omogen. În producerea acestor culori, limitarea cu umbră nu are nici un rol. Într-adevăr, lumina trece succesiv de la alb la galben, portocaliu și roșu fără vreo schimbare a limitării umbrei ; la ambele margini ale luminii emergente, unde marginile contrare ale umbrei ar putea produce efecte diferite, cu-



culoarea este una și aceeași, fie că este albă, galbenă, portocalie sau roșie, iar în mijlocul luminii emergente, unde nu există nici o limită a umbrei, culoarea este aceeași ca la margini, lumina totală la prima ei emergență fiind de culoare uniformă fie că este albă, galbenă, portocalie sau roșie și mergînd de acolo încontinuu fără vreo schimbare a culorii, în așa fel cum se presupune de obicei că acționează umbra asupra luminii refractate după emergența ei. Aceste culori nu pot proveni din nici o modificare nouă a luminii prin refracții, atît din cauza că ele trec succesiv din alb în galben, portocaliu și roșu, pe cînd refracțiile rămîn aceleași, cît și din cauză că refracțiile au loc în sensuri contrare la suprafețele paralele, distrugîndu-și astfel reciproc efectele. Așadar, ele nu se nasc din modificări oarecare ale luminii produse prin refracții și umbre, ci au alte cauze. În experiența a zecea, care a fost menționată, s-a arătat care este acea cauză și nu e nevoie să se repete aici.

Mai există însă și o altă dovadă importantă în această experiență. Lumina emergentă fiind refractată de o a treia prismă  $HIK$  (fig. 22, partea I) spre hîrtia  $PT$  și proiectînd acolo culorile obișnuite ale prisme, roșu, galben, verde, albastru, violet, dacă aceste culori s-ar produce prin refracțiile prisme care modifică lumina, ele nu ar exista în lumină înainte de incidența ei pe prismă. Totuși în acea experiență am găsit că, rotind cele două prisme în jurul axei lor comune, toate culorile puteau fi făcute să dispară afară de roșu; lumina care producea acel roșu, rămînînd singură, apărea de aceeași culoare roșie ca și cea dinaintea incidenței pe a treia prismă. În general, din alte experiențe aflăm că, dacă razele care diferă în refrangibilitate se separă unele de altele și una dintre ele se consideră separată, culoarea luminii compuse nu poate fi schimbată prin nici o refracție sau reflexie, cum ar trebui să se întîmple dacă culorile nu ar fi altceva decît modificări ale luminii cauzate de refracții, reflexii și umbre. Această invariabilitate a culorii o voi descrie acum în propoziția ce urmează.

## PROPOZIȚIA II. TEOREMA II

*Orice lumină omogenă își are propria sa culoare, corespunzînd gradului său de refrangibilitate, și această culoare nu poate fi schimbată prin reflexii și refracții.*

În experiențele din propoziția a patra a părții întîi a cărții întîi, cînd am separat razele eterogene una de alta, spectrul  $pt$  format

din razele separate, înaintînd de la capătul său  $p$ , unde cădeau razele cele mai refrangibile, spre celălalt capăt  $t$ , unde cădeau razele cele mai puțin refrangibile, apărea colorat cu seria de culori violet, indigo, albastru, verde, galben, portocaliu, roșu, împreună cu toate gradele intermediare într-o succesiune continuă, variînd perpetuu. În acest fel apăreau atîtea grade de culori cîte feluri de raze de refrangibilitate diferită erau.

*Experiența 5.* Am recunoscut că aceste culori nu pot fi schimbate prin refracție, refractînd cu o prismă uneori o parte foarte mică, a acestei lumini, iar alteori altă parte mică, după cum am descris în experiența a douăsprezecea din partea întîia acestei cărți. Într-adevăr, prin această refracție culoarea luminii nu s-a schimbat cîtuși de puțin. Dacă o parte a luminii roșie era refractată, ea rămînea cu totul de aceeași culoare ca înainte. Prin această refracție nu apărea nici un portocaliu, galben, verde sau albastru sau vreo altă culoare nouă. Nici nu se schimba culoarea prin refracții repetate, ci rămînea totdeauna în întregime același roșu ca cel dintîi. Aceeași constanță și imuabilitate am găsit-o și în albastru, verde și alte culori. La fel cînd priveam printr-o prismă asupra unui corp luminat cu o parte a acestei lumini omogene, după cum s-a descris în experiența a patrusprezecea din partea I a acestei cărți, n-am putut observa nici o culoare nouă care să fie generată în acest fel. Toate corpurile luminate cu lumină compusă apăreau neclare dacă erau privite prin prismă (după cum s-a spus mai sus) și colorate cu diferite culori noi, pe cînd cele luminate cu o lumină omogenă nu apăreau privite prin prismă nici mai puțin distincte, nici altfel colorate decît apăreau cînd le priveam cu ochiul liber. Culorile lor nu se schimbau cîtuși de puțin prin refracția prismeî interpușe. Eu vorbesc despre o schimbare sensibilă a culorii, fiindcă lumina pe care o numesc aici omogenă nefiind absolut omogenă, din eterogenitatea ei poate proveni o mică schimbare a culorii. Dacă însă această eterogenitate era foarte mică în experiențele amintite din propoziția a patra, schimbarea nu era sensibilă și, prin urmare, în experiențele în care hotărește simțul nu poate fi luată de loc în considerare.

*Experiența 6.* După cum aceste culori nu puteau fi schimbate prin refracții, la fel nu puteau să fie prin reflexii. Căci toate corpurile albe, gri, roșii, galbene, verzi, albastre, violete, cum sînt hîrtia, cenușa, miniul, pigmentul auriu, indigoul, aurul, argintul, cuprul, iarba, florile albastre, viorelele, baloanele de săpun colorate cu culori

variate, penele de păun, tinctura de *lignum nephriticum*\* și altele asemenea apăreau în lumina roșie omogenă total roșii, în lumina albastră total albastre, în lumina verde total verzi, și la fel în celelalte culori. În lumina omogenă de orice culoare, toate apăreau absolut în aceeași culoare, cu singura deosebire că unele dintre ele reflectau acea lumină mai intens, altele mai slab. Totuși nu am putut găsi nici un corp care în lumina omogenă reflectată să-și poată schimba culoarea în mod sensibil.

Din toate acestea este evident că, dacă lumina solară ar consta numai dintr-un fel de raze, nu ar exista în toată lumea decât o singură culoare și nu ar fi posibil să se producă nici o culoare nouă prin reflexii sau refracții; în consecință varietatea culorilor depinde de compoziția luminii.

#### DEFINIȚIE

Lumina omogenă și razele care apar roșii sau, mai bine zis, fac ca obiectele să apară roșii eu le numesc *rubrifiente* sau producătoare de roșu; pe acelea care fac ca obiectele să apară galbene, verzi, albastre și violete le numesc producătoare de galben, verde, albastru, violet și la fel pe celelalte. Iar dacă uneori vorbesc despre lumină și raze ca fiind colorate și înzestrate cu culori, aș dori să fiu înțeles că nu vorbesc filozofic și în sens propriu, ci în mod obișnuit și după concepțiile pe care poporul de rînd este în stare să și le formeze, văzînd toate aceste experiențe. Propriu-zis razele nu sînt colorate. În ele nu este altceva decât o anumită putere și dispoziție de a provoca o senzație a unei culori sau alteia. Într-adevăr, după cum sunetul

---

\* *Moringa pterygosperma*. R. Boyle scrie despre aceasta următoarele: „Am găsit uneori în prăvăliile droghiştilor noştri un fel de lemn, pe care ei îl numesc *lignum nephriticum*, din cauză că locuitorii regiunii în care creşte obișnuiesc să-i întrebuiţeze infuzia preparată în apă limpede împotriva litiazei renale. Acest lemn poate fi prilej pentru o experienţă care în afară de originalitatea ei ne poate fi de mare folos, într-un studiu atent asupra culorilor. Luaţi *lignum nephriticum* şi tăiaţi-l cu un cuţit în felii; puneţi cam un pumn din aceste felii în doi, trei sau patru funţi de cea mai curată apă de izvor. Decantaţi această apă impregnată într-o fiolă de sticlă şi dacă o ţineţi direct între lumină şi ochi o veţi vedea în întregime colorată cu o culoare aproape galbenă. Dacă însă ţineţi fiola în partea contrară luminii, astfel ca ochiul să fie situat între fereastră şi fiolă, lichidul va apare într-o culoare azurie închisă, plăcută” (*R. Boyle's Works*, II, 44, 1744; ediţia Birch). În limbile moderne *lignum nephriticum* are următoarele denumiri: *nephritic wood* (e), *bois nephretique* (f), *Nierenholz* (g), astfel că româneşte s-ar putea numi „lemn nefritic”.

într-un clopot sau coardă muzicală, ori în alte corpuri sonore nu este decît o mişcare vibratorie propagată şi în aer de la obiect şi în *sensorium*\*, unde acesta este o senzaţie a acelei mişcări sub formă de sunet, tot astfel culorile în obiecte nu sînt altceva decît o dispoziţie de a reflecta un gen sau altul de raze în măsură mai mare decît pe altele; în raze ele nu sînt altceva decît dispoziţia lor de a propaga o mişcare sau alta în *sensorium*, iar în *sensorium* ele sînt senzaţii ale acelor mişcări sub formă de culori.

### PROPOZIȚIA III. PROBLEMA I

*Determinarea refrangibilității mai multor feluri de lumină omogenă corespunzătoare diferitelor culori.*

Pentru a determina această problemă am făcut următoarea experiență\*\*.

*Experiența 7.* Cînd am reușit să limitez laturile rectilinii  $AF$ ,  $GM$  (fig. 4) ale spectrului colorat produs de prismă, după cum este

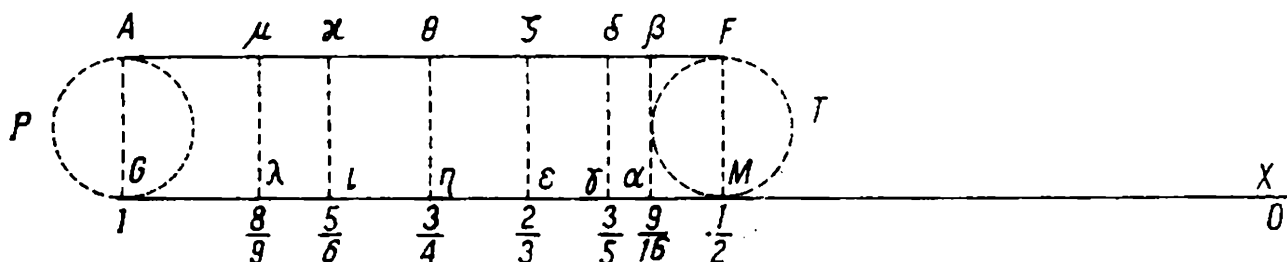


Fig. 4

descriș în experiența a cincea din partea întâi a acestei cărți, am aflat în ele toate culorile omogene în aceeași ordine și situarea lor ca în spectrul luminii simple, descriș în propoziția a patra a acelei părți. Într-adevăr, cercurile din care este compus spectrul  $PT$  al luminii compuse și care interferează la mijlocul spectrului și sînt amestecate între ele nu sînt amestecate și în părțile lui extreme, unde ele ating laturile rectilinii  $AF$  și  $GM$ . Prin urmare, în acele laturi rectilinii, dacă sînt

\* Denumirea folosită de Newton, pe care am păstrat-o în toată lucrarea, pentru ca să nu fim nevoiți să o înlocuim cu o perifrază.

\*\* Vezi Newton, *Lectioes opticae* partea II, secț. II, pag. 239.

bine definite, nu există nici o culoare nouă generată de refracție. Am mai observat că, dacă oriunde între cercurile extreme  $TMF$  și  $PGA$  se duce o linie transversală ca  $\gamma\delta$  prin spectru în așa fel ca ambele capete să cadă perpendicular pe laturile sale rectilinii, acolo apărea una și aceeași culoare și același grad de culoare de la un capăt la celălalt al acestei linii. De aceea am trasat pe hîrtie perimetrul spectrului  $FAPGMT$  și, efectuînd experiența a treia din partea a doua a acestei cărți, am ținut hîrtia în așa fel ca spectrul să poată cădea pe această figură trasată și să coincidă exact cu ea, în timp ce un asistent, ai cărui ochi erau mai ageri pentru distingerea culorilor decît ai mei, utilizînd liniile drepte  $\alpha\beta$ ,  $\gamma\delta$ ,  $\epsilon\xi$  etc. trasate transversal pe spectru, nota limitele culorilor, adică  $M\alpha\beta F$  pentru roșu,  $\alpha\gamma\delta\beta$  pentru portocaliu,  $\gamma\epsilon\xi\delta$  pentru galben,  $\epsilon\eta\theta\xi$  pentru verde,  $\gamma\iota\kappa\theta$  pentru albastru,  $\iota\lambda\mu\kappa$  pentru indigo și  $\lambda GA \mu$  pentru violet. Repetînd această experiență de mai multe ori atît pe aceeași hîrtie, cît și pe altele, am găsit că observațiile coincideau destul de bine unele cu altele și că laturile rectilinii  $MG$  și  $FA$  erau divizate prin liniile transversale menționate în felul coardelor muzicale. Să prelungim  $GM$  pînă la  $X$  astfel ca  $MX$  să poată fi egal cu  $GM$  și să presupunem că  $GX$ ,  $\lambda X$ ,  $\iota X$ ,  $\eta X$ ,  $\epsilon X$ ,  $\gamma X$ ,  $\alpha X$ ,  $MX$  sînt între ele ca numerele 1, 8/9, 5/6, 3/4, 2/3, 3/5, 9/10, 1/2 și astfel reprezintă coardele unei chei și unui ton, a unei terțe minore, cuarte, cvinte, sexte majore, septime și octave superioare ale acelei chei, iar intervalele  $M\alpha$ ,  $\alpha\gamma$ ,  $\gamma\epsilon$ ,  $\epsilon\eta$ ,  $\eta\iota$ ,  $\iota\lambda$  și  $\lambda G$  sînt spațiile pe care le ocupă diversele culori (roșu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo, violet)\*.

Aceste intervale sau spații care subîntind diferențele dintre refracțiile razelor ce merg pînă la limitele acelor culori, adică pînă la punctele  $M$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$ ,  $\eta$ ,  $\iota$ ,  $\lambda$ ,  $G$ , pot fi luate fără eroare sensibilă proporționale cu diferențele dintre sinusurile de refracție ale razelor cu un sinus comun de incidență prin urmare, fiindcă sinusul comun de incidență al razelor celor mai mult și mai puțin refrangibile din sticlă în aer s-a găsit (printr-o metodă descrisă mai sus) că este în raportul sinusurilor de refracție ca 50 la 77 și 78, împărțind diferența dintre sinusurile de refracție 77 și 78 după linia  $GM$  divizată în intervale, vom obține 77,77 1/8, 77 1/5, 77 1/3, 77 1/2, 77 2/3, 77 7/9, 78 pentru sinusurile de refracție ale razelor la trecerea din sticlă în aer, sinusul lor comun de incidență fiind 50. Așadar, sinu-

---

\* Această comparație a lui Newton între spectrul optic și scara muzicală nu se confirmă din cauză că într-un spectru continuu, limitele dintre cele șapte culori nu se pot determina exact.

surile de incidență ale tuturor razelor care produc roșu din sticlă în aer față de sinusurile lor de refracție nu erau mai mari decât  $50/77$ , nici mai mici ca  $50/77 \frac{1}{8}$  ci variaua între ele după toate rapoartele intermediare. Iar sinusurile de incidență ale razelor care produceau verde erau către sinusurile lor de refracție în toate rapoartele de la  $50/77 \frac{1}{3}$  până la  $50/77 \frac{1}{2}$ . Prin aceleași limite menționate mai sus erau definite refracțiile razelor aparținând restului de culori, sinusurile razelor care produceau roșu extinzându-se de la  $77$  la  $77 \frac{1}{8}$ , ale celor care produceau portocaliu de la  $77 \frac{1}{8}$  la  $77 \frac{1}{5}$ , care produceau galben de la  $77 \frac{1}{5}$  la  $77 \frac{1}{3}$ , care produceau verde de la  $77 \frac{1}{3}$  la  $77 \frac{1}{2}$ , ale albastrului de la  $77 \frac{1}{2}$  la  $77 \frac{2}{3}$ , ale indigoului de la  $77 \frac{2}{3}$  la  $77 \frac{7}{9}$ , iar ale violetului de la  $77 \frac{7}{9}$  la  $78$ .

Acestea sînt legile pentru refracțiile efectuate din sticlă în aer și de aici, cu ajutorul axiomei a treia din partea întâi a acestei cărți, se deduc ușor legile refracțiilor care au loc din aer în sticlă.

*Experiența 8.* Am mai găsit că, dacă lumina trece din aer prin mai multe medii alăturate refractante, ca, de exemplu, din apă în sticlă, și apoi pătrunde din nou în aer, indiferent dacă suprafețele refractante sînt paralele sau înclinate una față de alta, ori de cîte ori acea lumină este corectată prin refracții contrare, astfel încît razele emergente să fie în linii paralele cu cele incidente, ea continuă totdeauna să rămînă albă. Dacă însă razele emergente sînt înclinate față de cele incidente, lumina albă emergentă, la trecerea prin locul de emergență, se va colora treptat la margini. Am încercat aceasta refractînd lumina cu prisme de sticlă așezate într-un vas prismatic cu apă. Aceste culori prezintă o anumită divergență și separație a razelor eterogene una de alta, datorită refracțiilor inegale; aceasta se va vedea mai bine în cele ce urmează. Dimpotrivă, permanența culorii albe arată că la incidente egale ale razelor nu are loc o astfel de separare a razelor emergente și, în consecință, nici o inegalitate a refracțiilor. De aici mi se pare că pot deduce următoarele două teoreme.

1. Mărirea sinusurilor de refracție ale diferitelor feluri de raze față de sinusul lor comun de incidență cînd refracțiile se petrec din diverse medii mai dense imediat într-unul și același mediu mai rarefiat, de exemplu în aer, sînt între ele într-un raport dat.

2. Raportul dintre sinusul de incidență și cel de refracție al unuia și aceluiasi fel de raze dintr-un mediu în altul este compus din raportul dintre sinusul de incidență și sinusul de refracție din mediul întâi într-un al treilea mediu și din raportul dintre sinusul de incidență și sinusul de refracție din acest al treilea mediu în al doilea.

Prin teorema întâi se obțin refracțiile razelor de orice fel care au loc dintr-un mediu oarecare în aer, cunoscând refracția razelor de un gen oarecare. De exemplu, dacă voim să cunoaștem refracțiile razelor de orice gen la ieșirea lor din apa curată în aer, dacă scădem sinusul comun de incidență din sticlă în aer din sinusurile de refracție, atunci diferențele vor fi  $27$ ,  $27 \frac{1}{8}$ ,  $27 \frac{1}{5}$ ,  $27 \frac{1}{3}$ ,  $27 \frac{1}{2}$ ,  $27 \frac{2}{3}$ ,  $27 \frac{7}{9}$ ,  $28$ . Să presupunem că sinusul de incidență al ultimelor raze refrangibile este față de sinusurile lor de refracție din apă curată în aer în raportul  $\frac{3}{4}$  și spunem că diferența acestor sinusuri este față de sinusul de incidență  $3$ , la fel ca ultima dintre diferențele menționate mai sus  $27$  către un al patrulea număr  $81$ ,  $81$  fiind sinusul comun de incidență din apă curată în aer, la care sinus, dacă adunăm toate diferențele menționate mai sus, vom obține sinusurile de refracție dorite  $108 \frac{1}{8}$ ,  $108 \frac{1}{3}$ ,  $108 \frac{1}{2}$ ,  $108 \frac{2}{3}$ ,  $108 \frac{7}{9}$ ,  $109$ .

Prin teorema a doua se obține refracția dintr-un mediu în altul ori de câte ori cunoaștem refracțiile din amîndouă într-un al treilea mediu. De exemplu, dacă raportul dintre sinusul de incidență al unei raze din sticlă în aer și sinusul său de refracție este  $\frac{20}{31}$ , iar raportul dintre sinusul de incidență al aceleiași raze din aer în apă și sinusul său de refracție este  $\frac{4}{3}$ , sinusul de incidență al acelei raze din sticlă în apă va fi față de sinusul său de refracție în raportul  $\frac{20}{31}$  față de  $\frac{4}{5}$ , adică la fel ca produsul dintre  $20$  și  $4$  către produsul dintre  $31$  și  $3$ , deci ca  $\frac{80}{93}$ .

Admițînd aceste teoreme în optică, vom avea suficient posibilitatea de a trata această știință pe larg într-o nouă manieră\*, nu numai pentru a expune lucruri care tind la perfecționarea vederii, ci de asemenea pentru a determina în mod matematic toate felurile de fenomene ale culorilor ce pot fi produse prin refracție. Pentru a face aceasta nu se cere altceva decît să aflăm separările razelor eterogene și variatele lor amestecuri și proporții în fiecare amestec. Prin acest fel de discuție am descoperit aproape toate fenomenele descrise în aceste cărți, în afară de cîteva mai puțin importante pentru acest subiect; după succesele pe care le-am obținut în aceste experiențe pot să promit că, pentru acela care va judeca corect și apoi va încerca toate experiențele cu sticle bune și atenție suficientă, succesul nu va întîrzia. Dar mai întîi trebuie să știe ce fel de culori se vor naște dacă ele se amestecă într-o anumită proporție dată.

---

\* Vezi Newton, *Lectiões opticae*, partea I, secț. III, IV și partea II, secț. II.

## PROPOZIȚIA IV. TEOREMA III

*Se pot produce culori prin compunere care vor fi asemenea culorilor luminii omogene în ce privește aspectul culorilor, dar nu în ce privește imuabilitatea culorilor și constituția luminii. Aceste culori, cu cât sînt mai compuse, cu atît sînt mai puțin pure și intense și printr-o compunere excesivă ele pot fi diluate și slăbite pînă cînd dispar, iar amestecul devine alb sau gri. De asemenea se pot produce prin compunere culori care nu se aseamănă cu nici una dintre culorile luminii omogene.*

Într-adevăr, un amestec de roșu și galben omogene compun un portocaliu în aparență la fel cu culoarea acelui portocaliu care în seria culorilor prismatice neamestecate se situează între ele; dar această lumină portocalie este omogenă în ce privește refrangibilitatea, pe cînd a celuilalt este eterogenă, și culoarea unuia privită printr-o prismă rămîne neschimbată, iar a celuilalt se schimbă și se descompune în culorile sale componente, roșu și galben. La fel celelalte culori învecinate omogene; pot compune noi culori, asemenea celor intermediare omogene, astfel galbenul și verdele dau culoarea intermediară dintre ele și dacă se adaugă apoi albastrul, se va obține un verde, care este culoarea mijlocie a celor trei culori care intră în compoziție. Pe de altă parte, galbenul și albastrul, dacă ambele sînt în cantități egale, formează un verde intermediar prin compunerea lor în părți egale, care se menține ca și cînd ar fi în echilibru, în așa fel că acesta, pe de o parte, nu tinde mai mult spre galben și nici spre albastru, ci prin acțiunea lor unită rămîne o culoare situată la mijloc. Acestui verde mixt i se poate adăuga apoi puțin roșu și violet, fără ca verdele să dispară, devenind însă mai puțin intens și viu, iar prin creșterea roșului și violetului se va dilua din ce în ce mai mult pînă cînd culorile adăugate vor fi predominante și va trece în alb sau în altă culoare. La fel, dacă la culoarea unei luminii omogene se adaugă lumina solară albă compusă din toate felurile de raze, acea culoare nu va dispărea și nu-și va schimba caracterul, ci se va dilata, și, dacă se adaugă tot mai mult alb, se va dilua încontinuu din ce în ce mai mult. În fine, dacă se amestecă roșu cu violet se va naște, potrivit proporțiilor lor variate, diverse culori purpurii, care în aparență nu sînt asemenea cu culoarea nici unei luminii omogene, și din aceste culori purpurii amestecate cu galben și verde se pot produce alte culori noi.



## PROPOZIȚIA V. TEOREMA IV

*Albul și toate culorile gri dintre alb și negru pot fi compuse din diferite culori, iar albul luminii solare este compus din toate culorile primare amestecate într-o proporție potrivită.*

## Proba experimentală

*Experiența 9.* Am lăsat să intre lumina solară într-o cameră întunecată printr-un orificiu mic rotund din oblonul ferestrei, lumina fiind acolo refractată printr-o prismă astfel încât să formeze imaginea colorată  $PT$  (fig. 5) pe peretele opus. Am ținut o hîrtie albă  $V$  în acea imagine în așa fel ca ea să poată fi luminată de lumina colorată reflectată de acolo și totuși să nu intercepteze nici o parte a acelei lumini în trecerea ei de la prismă spre spectru. Am constatat că, dacă hîrtia era ținută mai aproape de una dintre culori decît de celelalte, ea apărea în culoarea de care era mai apropiată; dacă însă era egal sau aproape egal depărtată de toate culorile, astfel încît să poată fi egal luminată de toate, ea apărea albă. În această ultimă

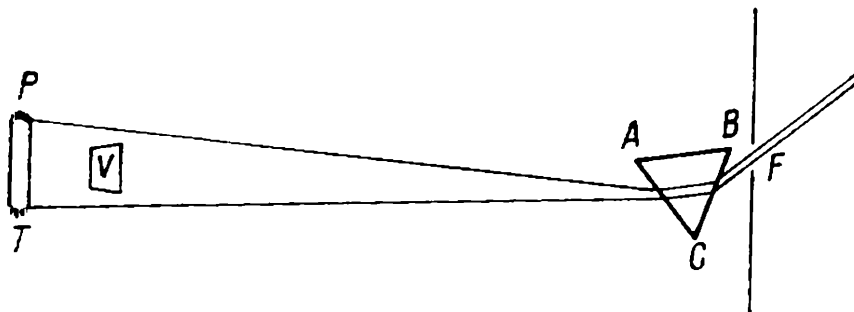


Fig. 5

situație a hîrtiei, dacă anumite culori erau interceptate, hîrtia își pierdea culoarea albă și apărea în culoarea restului luminii care nu era interceptată. Atunci hîrtia era luminată de diferite culori, și anume roșu, galben, verde, albastru și violet; fiecare parte a luminii își păstra propria culoare pînă ce cădea pe hîrtie și apoi se reflecta spre ochi, astfel că și dacă ar fi fost singură (restul luminii fiind interceptat) sau ar fi fost mai abundentă, fiind predominantă lumina reflectată de hîrtie, ar fi colorat hîrtia cu culoarea sa proprie, dar, fiind

amestecată cu restul culorilor într-o proporție potrivită, făcea ca hîrtia să apară albă și deci printr-o compunere cu restul producea acea culoare. Diversele părți ale luminii colorate reflectate de spectru, în timp ce ele se propagă de acolo prin aer, își rețin perpetuu propria lor culoare, fiindcă ori de cîte ori ajung în ochii unui spectator

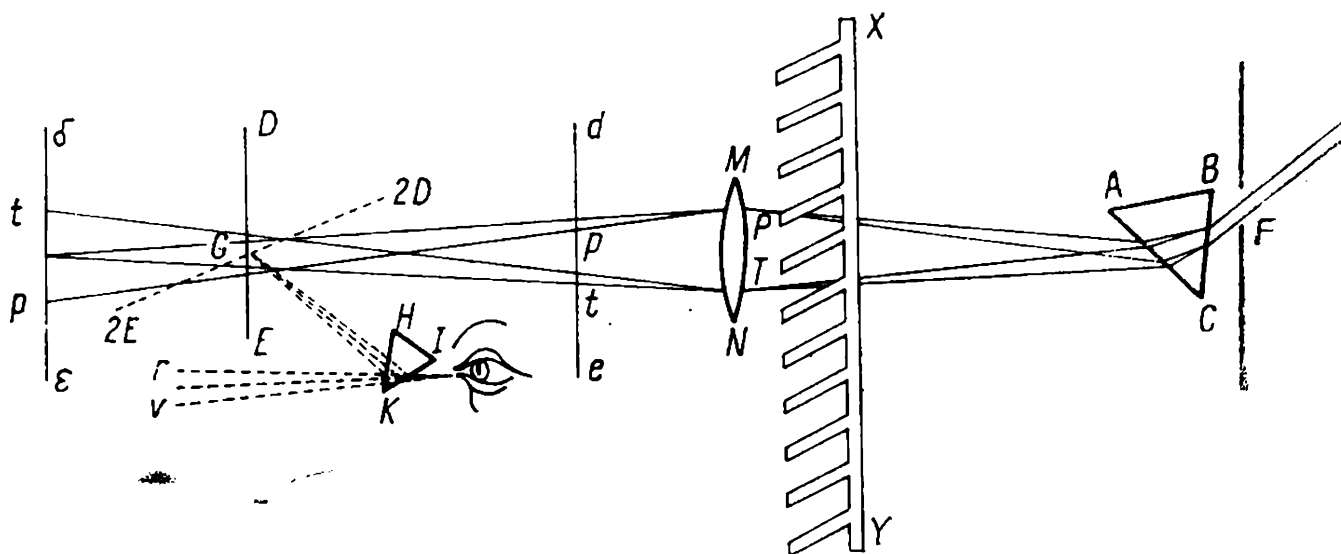


Fig. 6

fac ca diferitele părți ale spectrului să apară în propria lor culoare. Așadar, ele își rețin propriile culori cînd cad pe hîrtia *V* și astfel, prin confuzia și amestecul perfect al acelor culori, compun albul luminii reflectate de acolo.

*Experiența 10.* Să lăsăm acum să cadă spectrul imaginii solare *PT* (fig. 6) pe lentila *MN*, care este mai mare de patru inch și este așezată la o distanță de vreo șase picioare de prisma *ABC*, făcută în așa fel încît să poată face ca lumina colorată care diverge de la prismă să converge și să se întâlnească din nou în focarul său *G* la o distanță de aproximativ șase sau opt picioare de la lentilă și acolo să cadă perpendicular pe o hîrtie albă *DE*. Dacă mișcați această hîrtie înainte și înapoi, veți vedea că în apropierea lentilei, în *de*, întreaga imagine solară (presupusă în *pt*) va apărea colorată intens în modul descris mai sus și că, depărtînd-o de lentilă, culorile se vor apropia încontinuu una de alta, amestecîndu-se încontinuu mai mult sau mai puțin, pînă cînd în sfîrșit hîrtia ajunge în focarul *G*, unde printr-un amestec perfect vor dispărea complet și vor trece în alb, întreaga lumină apărînd acum pe hîrtie sub forma unui mic cerc alb. După aceea, depărtînd-o mai departe de lentilă, razele, care mai îna-

inte convergeau, acum se vor încrucișa între ele în focarul  $G$ , vor diverge de acolo și în acest fel vor face să apară iarăși culorile, dar de această dată în ordine inversă, să presupunem în  $\delta\epsilon$ , unde roșul  $t$  este acum sus, pe cînd mai înainte era jos, iar violetul  $p$  care era mai înainte sus acum este jos.

Să fixăm acum hîrtia în focarul  $G$ , unde lumina apare total albă și circulară, și să observăm acest alb. Eu zic că el este compus din culorile convergente. Într-adevăr, dacă unele dintre aceste culori sînt interceptate de lentilă, albul va înceta să mai apară și va degenera într-o culoare ce se naște din compunerea celorlalte culori care nu sînt interceptate. Dacă însă culorile interceptate sînt lăsate să treacă și să cadă pe culoarea compusă, se vor amesteca cu ea și prin amestecul lor vor restabili albul. Astfel, dacă interceptăm violetul, atunci albastrul și verdele, galbenul, portocaliul și roșul care rămîn vor compune pe hîrtie un portocaliu; dacă apoi lăsăm să treacă culorile interceptate, ele vor cădea pe acest portocaliu necompus și împreună cu el vor compune albul. Astfel, dacă este interceptat roșul și violetul, rămîn galbenul, verdele și albastrul și se va forma pe hîrtie un verde, apoi roșul și violetul, fiind lăsate să treacă, vor cădea pe acest verde și împreună cu el vor compune albul. Iar în această compunere a albului diversele raze nu suferă nici o schimbare în calitățile lor de culoare acționînd una asupra celeilalte, ci numai se amestecă, și printr-un amestec al culorilor lor produc albul, după cum se va vedea mai bine prin următoarele argumente.

Dacă așezăm hîrtia dincolo de focarul  $G$ , de exemplu în  $\delta\epsilon$ , și apoi la lentilă alternativ interceptăm și apoi lăsăm să treacă din nou culoarea roșie, culoarea violetă de pe hîrtie nu va suferi prin aceasta nici o schimbare, după cum s-ar întîmpla dacă ar acționa mai multe feluri de raze reciproc în focarul  $G$ , unde se încrucișează. Nici roșul de pe hîrtie nu se va schimba prin oprirea și prin trecerea violetului care-l încrucișa.

Dacă fixăm hîrtia în focarul  $G$  și privim imaginea albă rotundă din  $G$  prin prisma  $HIK$ , iar prin refracția acelei prisme o deplasăm în locul  $rv$ , acolo va apărea în diferite culori, și anume violetul în  $v$ , roșul în  $r$  și celelalte între ele; dacă oprim culoarea roșie și apoi o lăsăm să treacă spre lentilă, roșul din  $r$  de asemenea va dispărea și va reveni adesea, dar violetul din  $v$  nu va suferi prin aceasta nici o schimbare. La fel, oprind și lăsînd alternativ să treacă albastrul la lentilă, albastrul din  $v$  de asemenea va dispărea și reapărea fără a se produce vreo schimbare în roșul din  $r$ . Prin urmare, roșul depinde de un

fel de raze, iar albastrul de un altul, care în focarul  $G$ , unde se amestecă, nu interacționează reciproc.

Consider mai departe că, dacă razele cele mai refrangibile  $Pp$  și cele mai puțin refrangibile  $Tt$  prin convergență se înclină unele spre altele, dacă ținem hîrtia foarte oblic, față de aceste raze în focarul  $G$  ea poate reflecta un anumit fel de raze mai abundent decît altul și în felul acesta lumina reflectată se va colora în focar în culoarea razelor predominante numai dacă acele raze își rețin fiecare în parte culoarea sau calitățile de culoare în compunerea albului format din ele în focar. Dacă însă nu și-o rețin în acest alb, ci fiecare dintre ele capătă o dispoziție de a acționa asupra simțului ca să conducă la percepția albului, atunci nu se va pierde albul prin astfel de reflexii. De aceea am înclinat hîrtia foarte oblic față de raze, ca în experiența a doua din partea a doua a cărții întîi, astfel încît razele cele mai refrangibile puteau fi reflectate mai abundent decît restul și, în fine, albul trecea succesiv în albastru, indigo și violet. Apoi am înclinat-o în partea contrară, așa încît razele cele mai puțin refrangibile puteau fi mai abundente în lumina reflectată decît celelalte și albul trecea succesiv în galben, portocaliu și roșu.

În sfîrșit, am construit un aparat  $XY$  de forma unui pieptene, ai cărui dinți, în număr de șasesprezece, aveau lățimea de aproximativ un inch și jumătate, iar intervalele dintre dinți erau de vreo doi inch. Interpunînd succesiv dinții acestui instrument aproape de lentilă, am interceptat o parte dintre culori prin dinții interpuși, în timp ce restul lor pătrundea prin intervalul dintre dinți pînă la hîrtia  $DE$ , și acolo proiectam o imagine solară rotundă. Dar mai întîi am plasat hîrtia astfel ca lumina să poată apărea albă ori de cîte ori pieptenul era înlăturat; apoi pieptenul fiind interpus, după cum am spus, albul, din cauza părții interceptate a culorilor la lentilă, trecea totdeauna într-o culoare compusă din culorile care nu erau interceptate, iar culoarea aceasta varia continuu prin mișcarea pieptenului, astfel încît, la trecerea fiecărui dinte prin fața lentilei, toate culorile — roșu, galben, verde, albastru și purpuriu — se succedau în permanență. Făceam deci ca toți dinții să treacă succesiv prin fața lentilei și, cînd mișcarea era lentă, apărea pe hîrtie o succesiune perpetuă a culorilor; dar dacă acceleram mișcarea atît de mult încît culorile nu se puteau distinge una de alta din cauza succesiunii lor rapide, nu mai avea loc apariția unei singure culori. Nu se mai vedea acolo nici roșu, nici galben, nici verde, nici albastru, nici purpuriu, ci din suprapunerea tuturor acestor culori lua naștere o culoare uniformă albă. Din lumina care prin amestecul culorilor apărea acum albă, nici o parte nu

era în realitate albă. O parte era roșie, alta galbenă, a treia verde, a patra albastră, a cincea purpurie și fiecare parte își menținea propria culoare pînă ce excita simțul. Dacă impresiile urmează încet una după alta astfel că ele pot fi percepute separat, se formează o senzație distinctă a tuturor culorilor una după alta într-o succesiune continuă.

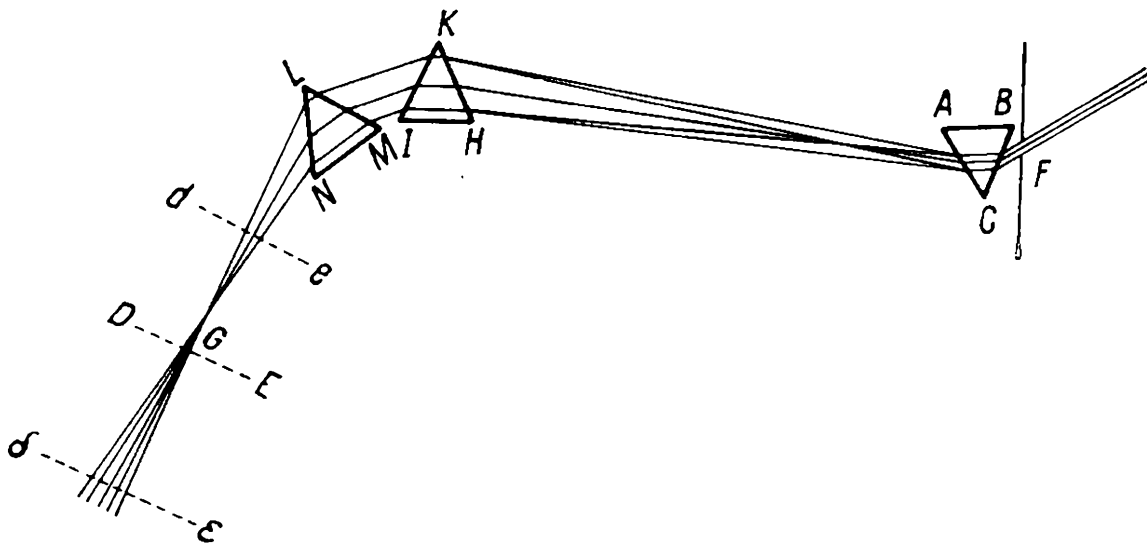


Fig. 7

Dar, dacă impresiile urmează una după alta atît de repede încît nu pot fi percepute separat, din totalitatea lor se naște o senzație comună, care nu este numai a unei singure culori, ci aparține tuturor fără deosebire, și aceasta este senzația de alb. Prin repeziciunea succesiunilor, impresiile diverselor culori se confundă în *sensorium* și afară de acea suprapunere ia naștere o senzație mixtă. Dacă mișcăm repede un cărbune aprins în cerc prin rotații continuu repetate, întreg cercul va apărea ca de foc, deoarece senzația cărbunelui în diferitele părți ale cercului rămîne imprimată în *sensorium* pînă ce cărbunele se întoarce în același loc. La fel într-o succesiune rapidă a culorilor rămîne în *sensorium* impresia fiecărei culori pînă ce se completează o revoluție a tuturor culorilor și revine prima culoare. De aceea impresiile tuturor culorilor succesive se află simultan în *sensorium* și produc în comun o senzație a tuturor. Așadar, din această experiență este evident că impresiile amestecate ale tuturor culorilor provoacă o senzație de alb, deci albul este compus din toate culorile.

Dacă îndepărtăm acum pieptenele, astfel încît toate culorile pot să treacă deodată de la lentilă la hîrtie și acolo să se amestece și apoi să se reflecte spre ochii spectatorului, impresiile lor asupra *sensoriumului* fiind acum mai subtile și perfect amestecate, ele vor produce cu atît mai bine senzația de alb.

În loc de lentilă puteți întrebuința două prisme  $HIK$  și  $LMN$ , care, refractînd lumina colorată în sens invers celei din prima refracție, pot face ca razele divergente să conveargă și să se întâlnească din nou în  $G$ , după cum vedeți reprezentat în figura 7. Acolo unde se întîlnesc și se amestecă, ele vor compune o lumină albă, ca și cînd am fi folosit o lentilă.

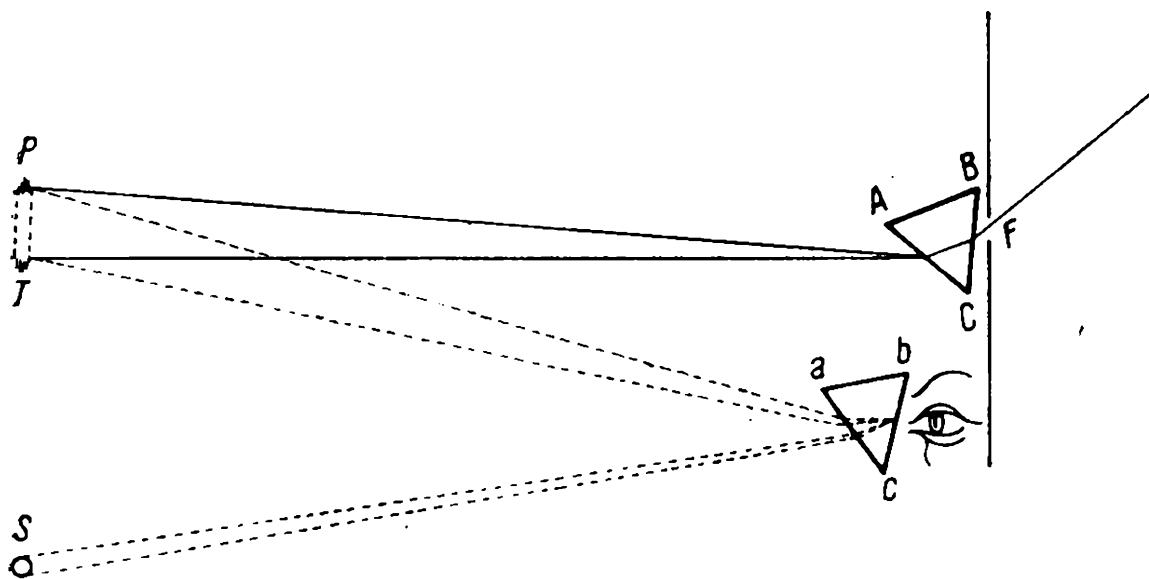


Fig. 8

*Experiența 11.* Să lăsăm să cadă imaginea colorată a Soarelui  $PT$  (fig. 8) pe peretele unei camere întunecate, ca în experiența a treia a cărții întîi, și s-o privim prin prisma  $abc$ , ținută paralel cu prisma  $ABC$ , care a format prin refracție această imagine; s-o facem apoi să apară mai jos decît înainte, de exemplu în locul  $S$  în fața culorii roșii  $T$ . Dacă vă apropiați de imaginea  $PT$ , spectrul  $S$  va apărea alungit și colorat, la fel ca imaginea  $PT$ ; dacă însă vă depărtați de ea, culorile spectrului  $S$  se vor contracta din ce în ce mai mult și, în fine, vor dispărea, spectrul  $S$  devenind perfect rotund și alb; iar dacă vă depărtați și mai mult, culorile vor apărea din nou, dar în ordine inversă. Spectrul  $S$  apare deci alb în cazul cînd diferitele feluri de raze care converg din diversele părți ale imaginii  $PT$  spre prisma  $abc$  sînt refractate de ea în mod egal în așa fel încît în trecerea lor de la prismă la ochi pot să diveargă de la unul și același punct al spectrului  $S$  și astfel să cadă după aceea în același punct pe fundul ochiului și acolo să se amestece.

Apoi dacă ne folosim de pieptene, ai cărui dinți pot intercepta succesiv culorile imaginii  $PT$ , și dacă mișcăm încet pieptenele, spec-

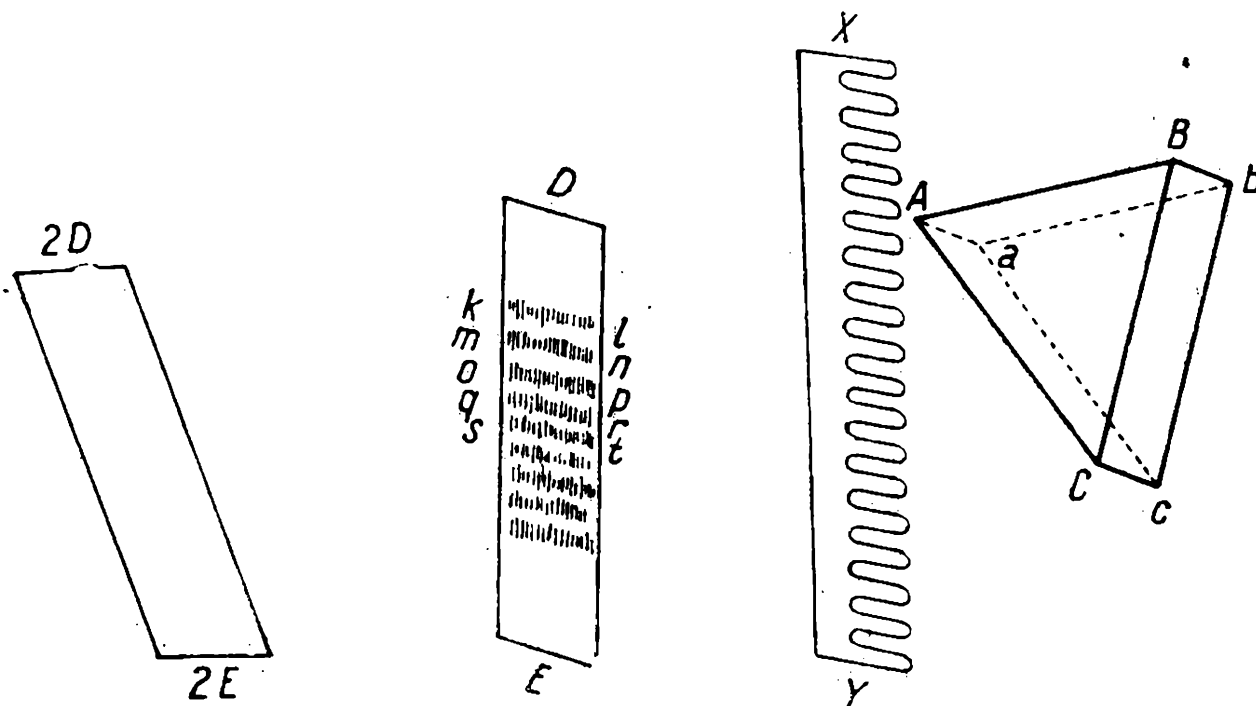


Fig. 9

trul  $S$  se va colora continuu cu culori succesive; dar, dacă prin accelerarea mișcării pieptenului succesiunea culorilor este atât de rapidă încât ele nu pot fi văzute separat, spectrul  $S$ , printr-o senzație confuză și amestecată, va apărea alb.

*Experiența 12.* Lumina solară străbătînd o prismă groasă  $ABC$  (fig. 9) pînă la un pieptene  $XY$  situat imediat în spatele prisme, trecea prin spațiile dintre dinți și cădea pe o hîrtie albă  $DE$ . Lățimile dinților erau egale cu spațiile dintre ele și șapte dinți împreună cu aceste spații aveau lățimea de un inch. Dacă hîrtia era la o distanță de vreo doi sau trei inch de la pieptene, lumina care trecea prin diversele intervale proiecta tot atîtea fișii colorate  $kl$ ,  $mn$ ,  $op$ ,  $qr$  etc., paralele între ele, vecine și fără nici un amestec de alb. Aceste fișii colorate, dacă pieptenele era mișcat încontinuu în sus și jos, se ridicau și se coborau cu o mișcare corespunzătoare pe hîrtie, iar cînd mișcarea pieptenului era atât de rapidă încît culorile nu se mai puteau distinge unele de altele, întreaga hîrtie, în urma suprapunerii și amestecului lor, apărea în *sensorium* albă.

Ținînd pieptenele în repaus și mișcînd hîrtia mai departe de prismă, diversele fișii colorate se vor dilata din ce în ce mai mult și prin amestec culorile lor se vor dilua una în cealaltă, iar pe urmă,

cînd distanța de la hîrtie la pieptene va fi de aproape un picior sau ceva mai mult (să presupunem în poziția  $2D\ 2E$ ), se vor dilua atît de mult, încît vor deveni albe.

Opriți acum cu un obstacol toată lumina ce trece printr-un interval dintre dinți, astfel ca toate fișiile colorate ce vin de acolo să fie înlăturate, și veți vedea că lumina restului fișiiilor se lărgeste în locul fișiei înlăturate și acolo se colorează. Dacă lăsați să treacă fișia colorată ca mai înainte, culorile ei, căzînd pe culorile celorlalte fișii și amestecîndu-se cu ele, vor restabili lumina albă.

Dacă acum înclinăm hîrtia  $2D\ 2E$  foarte mult față de raze, astfel ca razele cele mai refrangibile să poată fi reflectate mai mult decît restul, culoarea albă a hîrtiei, datorită excesului acelor raze, se va schimba în albastru și violet. Dacă înclinăm hîrtia atît de mult în sens contrar ca acum razele cele mai puțin refrangibile să fie reflectate mai mult decît celelalte, prin excesul lor albul se va transforma în galben și roșu. Prin urmare, diversele raze își mențin în această lumină albă calitățile lor de culoare, prin care razele de același fel, ori de cîte ori devin mai abundente decît restul, prin excesul și predominarea lor vor face să apară culoarea lor proprie.

Prin același raționament, aplicat la experiența a treia din partea a doua a cărții întîi, se poate conchide că culoarea albă a oricărei lumini refractate la prima ei emergență, unde apare tot atît de albă ca înainte de incidență, este compusă din culori diferite.

*Experiența 13.* În experiența precedentă, diversele intervale dintre dinții pieptenului joacă rolul tot atîtor prisme, fiecare interval producînd fenomenul unei prisme. De aceea, întrebuițînd în locul acelor intervale mai multe prisme, am încercat să compun albul amestecînd culorile și am făcut aceasta folosind numai trei prisme, ba chiar numai două, după cum urmează. Să așezăm două prisme  $ABC$  și  $abc$  (fig. 10), ale căror unghiuri de refracție  $B$  și  $b$  sînt egale, paralele între ele în așa fel ca unghiul de refracție  $B$  al uneia să atingă unghiul  $c$  de la baza celeilalte, iar planele lor  $CB$  și  $cb$  din care emerg razele să fie coliniare. Să lăsăm ca lumina ce le traversează să cadă pe hîrtia  $MN$  la o distanță de vreo 8 sau 12 inch de prismă. Culorile generate de limitele interioare  $B$  și  $c$  ale celor două prisme se vor amesteca în  $PT$  și acolo vor compune albul. Căci, dacă îndepărtăm una dintre prisme, culorile formate de cealaltă vor apărea în locul  $PT$  și, dacă punem prisma iarăși la locul ei astfel ca culorile ei să cadă pe culorile celeilalte, amestecul amîndurora va restabili albul.

Această experiență reușește, după cum am verificat, și dacă unghiul  $b$  al prisme de jos este cu ceva mai mare decît al celei de sus



iar între unghiurile interioare  $B$  și  $c$  se află un spațiu oarecare  $Bc$ , după cum se vede pe figură, iar planele refractatoare  $BC$  și  $bc$  nu sînt nici în prelungire, nici paralele între ele. Într-adevăr, pentru succesul experienței nu se cere nimic mai mult decît ca toate felurile de raze să poată fi amestecate uniform pe hîrtie în locul  $PT$ . Dacă razele cele mai refrangibile care vin de la prisma superioară ocupă

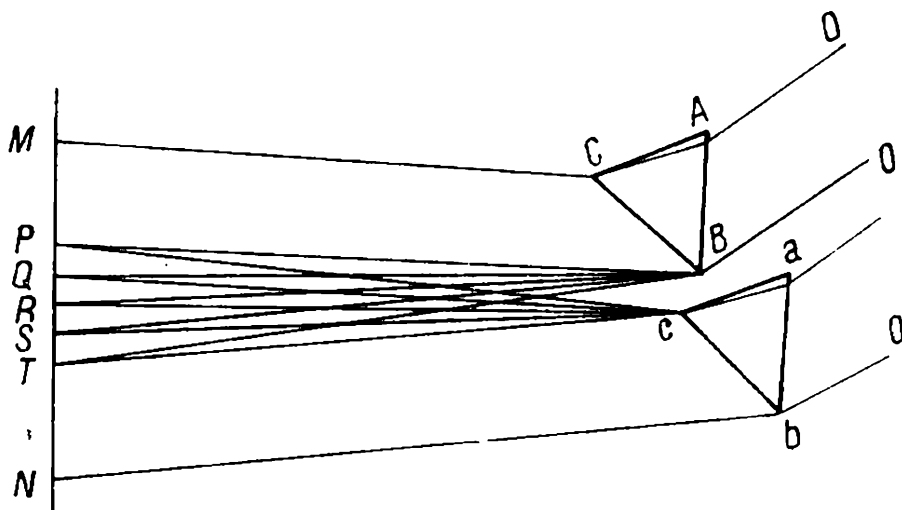


Fig. 10

întreg spațiul dintre  $M$  și  $P$ , razele de același fel care vin din partea inferioară a prisme trebuie să înceapă afară în  $P$  și să ocupe întreg restul spațiului de acolo pînă la  $N$ . Dacă razele cele mai puțin refrangibile ce vin din partea superioară a prisme ocupă spațiul  $MT$ , razele de același fel care vin de la cealaltă prismă trebuie să înceapă la  $T$  și să ocupe spațiul rămas liber  $TN$ . Dacă una dintre razele care au grade intermediare de refrangibilitate vine de la prisma de sus, se răspîndește în spațiul  $MQ$ , iar o altă rază se extinde în spațiul  $MR$  și o a treia în spațiul  $MS$ , același fel de raze venind de la prisma de jos trebuie să lumineze respectiv spațiile rămase  $QN$ ,  $RN$ ,  $SN$ . Același lucru trebuie înțeles despre toate celelalte feluri de raze, căci astfel orice fel de raze se vor împrăști uniform și egal prin întreg spațiul  $MN$  și în felul acesta, amestecîndu-se pretutindeni în aceeași proporție, trebuie să producă peste tot aceeași culoare. În consecință, fiindcă prin acest amestec ele produc un alb în spațiile exterioare  $MP$  și  $TN$ , trebuie să producă un alb și în spațiul interior  $PT$ . Aceasta este cauza compunerii prin care se producea albul în această experiență și pe orice altă cale prin care am făcut o compunere analogă al cărui rezultat dădea alb.

În sfârșit, dacă cu dinții unui pieptene de o mărime potrivită interceptăm alternativ luminile colorate ale celor două prisme ce cad pe spațiul  $PT$ , acel spațiu  $PT$ , dacă mișcarea pieptenelui este înceată, va apărea totdeauna colorat; dacă însă accelerăm mișcarea pieptenelui atît de tare încît culorile succesive să nu se poată distinge între ele, el va apărea alb.

*Experiența 14.* Pînă acum am produs albul amestecînd culorile prisme. Dacă acum voim să amestecăm culorile corpurilor naturale, să agităm apă amestecată puțin cu săpun ca să devină spumoasă, iar după ce spuma s-a așezat puțin, dacă o privim intens, vom vedea apărînd diverse culori pretutindeni pe suprafața diferitelor bule; dacă însă ne depărtăm atît de mult de ele încît nu putem distinge culorile una de alta, toată spuma va apărea albă, de un alb perfect.

*Experiența 15.* În fine, încercînd să compun un alb prin amestecul prafului colorat pe care-l întrebuințează pictorii, am observat că toate prafulile colorate suprimă și opresc în ele o parte foarte considerabilă a luminii cu care sînt luminate. Într-adevăr, ele se colorează prin faptul că reflectă mai abundent lumina culorii lor proprii, pe cînd a celorlalte culori o reflectă mai puțin, și totuși nu reflectă lumina culorii lor proprii atît de mult cum o fac corpurile albe. Dacă, de exemplu, așezăm miniu și hîrtie albă în lumina roșie a spectrului colorat obținut într-o cameră întunecată prin refracția unei prisme, după cum s-a descris în experiența a treia din prima parte a acestei cărți, hîrtia va apărea mai luminoasă decît miniul. Iar dacă le ținem în lumina unei alte culori, lumina reflectată de hîrtie va întrece lumina reflectată de miniu într-o proporție cu mult mai mare. La fel se întîmplă cu prafulile de o altă culoare. Prin urmare, amestecînd astfel de prafuli, să nu ne așteptăm la un alb intens și complet, ca cel al hîrtiei, ci la ceva obscur, asemănător cu ceea ce poate proveni dintr-un amestec de lumină și întuneric sau de alb și negru, adică un gri sau cenușiu ori brun-roșcat, cum sînt culorile unghiilor omenеști, ale unui șoarece, ale cenușii, ale pietrelor obișnuite, ale mortarului, ale prafului și murdăriei de pe șosele, precum și altele la fel. Un astfel de alb închis am realizat adeseori amestecînd prafuli colorate. Astfel o parte de miniu și cinci părți de *Viride aeris* \* dădeau o culoare cenușie asemănătoare cu a șoarecelui. Căci fiecare dintre aceste două culori este compusă din altele în așa fel încît amîndouă împreună sînt un amestec de toate culorile; aici am folosit mai puțin miniu decît *Viride aeris*, deoarece culoarea miniului este mai intensă,

---

\* Acetat bazic de cupru (cocleală).

iar o parte de miniu și patru părți de azurit dădeau o culoare cenușie, tinzînd puțin spre purpuriu ; dacă însă adăugăm la acesta un anumit amestec de auripigment și *Viride aeris* în proporție determinată, amestecul își pierde colorația purpurie și devenea perfect cenușiu. Dar experiența reușea mai bine fără miniu în felul următor. Am adăugat la auripigment încetul cu încetul un anumit purpuriu foarte intens, de care întrebuințează pictorii, pînă ce auripigmentul înceta de a mai fi galben și devenea roșu-deschis. Apoi am diluat acel roșu adăugînd puțină *Viride aeris* și ceva mai mult azurit decît *Viride aeris*, pînă ce devenea de un astfel de gri sau alb-deschis încît nu înclina spre nici o culoare mai mult decît spre alta. Într-adevăr, în felul acesta el devenea de un alb egal cu cel al cenușii sau al lemnului tăiat proaspăt sau a pielii omenești. Auripigmentul reflecta mai multă lumină decît oricare alt praf și contribuia mai mult la albul culorilor compuse decît celelalte. Este greu de stabilit proporțiile exacte din cauza calității diferite a prafurilor de același fel. După cum culoarea unui praf este mai mult sau mai puțin intensă și luminoasă, el poate fi întrebuințat într-o proporție mai mică sau mai mare.

Dacă însă luăm în considerare faptul că aceste culori gri și cenușiu pot fi produse și amestecînd alb cu negru, în consecință diferă de albul perfect, nu în ceea ce privește felul culorilor, ci numai în gradul de luminozitate, este evident că pentru a le face perfect albe nu se cere altceva decît să le mărim suficient lumina ; din contra, dacă, mărimdu-le lumina, ele pot fi aduse la un alb perfect, de aici mai urmează că ele sînt de aceeași culoare ca și albul cel mai bun și se deosebesc de el numai prin cantitatea de lumină. Am încercat aceasta după cum urmează : am luat al treilea din amestecurile gri menționate mai sus (acela care era format din auripigment, purpur, azurit și *Viride aeris*), l-am întins pe podeaua camerei mele, în care bătea Soarele prin geamul deschis și am așezat lîngă el în umbră o bucată de hîrtie albă de aceeași mărime. Îndepărtîndu-mă apoi de el la o distanță de 12 pînă la 18 picioare, astfel încît nu puteam deosebi inegalitățile suprafeței prafului, nici puțină umbră ce cădea pe ea de la micile particule ; praful apărea intens alb, așa că întrecea însuși albul hîrtiei, mai ales dacă hîrtia era puțin umbrită de lumina norilor, și atunci hîrtia în comparație cu praful apărea în aceeași culoare gri pe care o avea praful mai înainte. Așezînd însă hîrtia acolo unde cădea lumina solară care trecea prin geamul ferestrei sau închizînd fereastra astfel ca Soarele să poată lumina praful prin geam sau mărimd sau micșorînd prin alte mijloace potrivite lumina care cade

pe praf și hîrtie, se poate face ca lumina care luminează praful să devină mai intensă într-o proporție potrivită față de lumina care luminează hîrtia, încît ambele să apară exact de același alb. Într-adevăr, cînd încercam aceasta și venind un prieten să mă viziteze, l-am oprit în ușă și, înainte de a-i spune ce culori erau sau cu ce mă ocupam, l-am întrebat care dintre cele două alburi era cel mai bun și prin ce se deosebesc. După ce le-a privit bine de la distanță, el mi-a răspuns că amîndouă erau perfect albe și că nu se poate să spună care este cel mai bun, nici prin ce diferă culorile lor. Acum, dacă luați în considerare că acest alb al prafului în lumina solară era compus din culorile pe care le au prafurile componente (auripigment, purpur, azurit și *Viride aeris*) în aceeași lumină solară, trebuie să recunoașteți din această experiență, ca și din cea precedentă, că albul perfect poate fi compus din culori.

Din cele spuse mai este evident că albul luminii solare este compus din toate culorile diverselor feluri de raze din care este formată acea lumină și în care se separă din cauza diferenței de refrangibilitate a razelor respective, colorînd hîrtia sau orice alt corp alb pe care cad. Aceste culori sînt (potrivit propoziției II, partea a 2-a) neschimbătoare și ori de cîte ori toate aceste raze cu aceste culori ale lor sînt din nou amestecate, ele reproduc aceeași lumină albă ca și mai înainte.

#### PROPOZIȚIA VI. PROBLEMA II

*Într-un amestec de culori primare, fiind dată cantitatea și calitatea ia, să aflăm culoarea amestecului.*

Descrieți un cerc  $ADF$  și cu centrul  $O$  (fig. 11) și împărțiți-l în șapte părți  $DE$ ,  $EF$ ,  $FG$ ,  $GA$ ,  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ , proporționale cele șapte tonuri sau intervale ale celor opt sunete sol, a, mi, fa, sol, cuprinzînd o octavă, adică proporționale cu  $9, 1/16, 1/10, 1/9, 1/16, 1/16, 1/9$ . Fie partea întîi  $DE$  roșie, a doua  $EF$  cea portocalie, a treia  $FG$  galbenul, a patra cincea  $AB$  albastrul, a șasea  $BC$  indigoul, a șaptea imagineați-vă că acestea sînt toate culorile luminii netreptat una în cealaltă, după cum se întîmplă cînd o prismă, circumferința  $DEFGABCD$  reprezentînd culorile de la un capăt al imaginii colorate a Soarelui, că de la  $D$  la  $E$  se află toate gradele de roșu în

$E$  culoarea medie între roșu și portocaliu, de la  $E$  la  $F$  toate gradele de portocaliu, la  $F$  media dintre portocaliu și galben, de la  $F$  la  $G$  toate nuanțele de galben și așa mai departe. Fie  $p$  centrul de greutate al arcului  $DE$ , iar  $q, r, s, t, u, x$  centrele de greutate respectiv ale arcelor  $EF, FG, GA, AB, BC$  și  $CD$ ; în jurul acestor centre de greutate să descriem cercuri proporționale cu numărul de raze ale fiecărei culori a amestecului dat, cercul  $p$  proporțional cu numărul razelor care dau prin amestec roșu portocaliul și la fel pentru

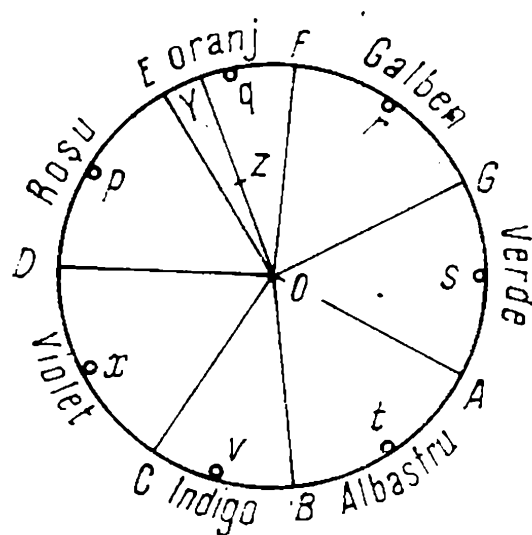


Fig. 11

rest. Să găsim centrul de greutate comun tuturor acestor cercuri  $p, q, r, s, t, u, x$ . Fie acest centru  $Z$  și, ducînd din centrul cercului  $ADF$ , prin  $Z$ , la circumferință linia dreaptă  $OY$ , locul punctului  $Y$  pe circumferință va indica culoarea ce se naște din compunerea tuturor culorilor din amestecul dat, iar linia  $OZ$  va fi proporțională cu intensitatea culorii, adică cu diferența ei de alb. De exemplu, dacă  $Y$  cade la mijloc între  $F$  și  $G$ , culoarea compusă va fi galbenul cel mai curat; dacă  $Y$  se deplasează de la mijloc spre  $F$  sau  $G$ , culoarea compusă va fi în mod corespunzător un galben tinzînd spre portocaliu sau verde. Dacă  $Z$  cade pe circumferință, culoarea va fi intensă și vie în cel mai mare grad; dacă va cădea la mijloc între circumferință și centru, intensitatea va scădea la jumătate, adică va avea culoarea ce s-ar produce prin diluarea galbenului celui mai intens cu o cantitate egală de alb, iar dacă va cădea în centrul  $O$ , culoarea își va pierde intensitatea și va deveni albă. Dar trebuie să notăm că, dacă punctul  $Z$  cade pe sau aproape de linia  $OD$ , ingredientii principali fiind roșul și violetul, culoarea compusă nu va fi nici una dintre culorile prismatice, ci un purpuriu înclinînd spre roșu sau violet, după cum punctul  $Z$  este situat de o parte a liniei  $DO$  spre  $E$  sau spre  $C$ , și în general violetul compus este mai strălucitor și mai viu decît cel necompus. Chiar dacă se amestecă în proporție egală numai două din culorile primare care în cerc sînt opuse una cu cealaltă, punctul  $Z$  va cădea în centrul  $O$  și totuși culoarea compusă din acestea două nu va fi perfect albă, ci o culoare oarecare nedefinită. Eu nu am putut să produc niciodată prin amestecul numai a două culori un alb perfect. Nu știu dacă acesta se poate compune dintr-un amestec de trei

culori luate la distanțe egale pe circumferință, însă din patru sau cinci nu mai încapе îndoială că se poate. Dar acestea sînt curiozități care au o mică importanță sau chiar nici una pentru înțelegerea fenomenelor naturii. Căci în orice alb produs de natură de obicei există un amestec de tot felul de raze și, în consecință, o compoziție a tuturor culorilor.

Ca să dau un exemplu pentru această regulă, presupuneți că o culoare e compusă din următoarele culori omogene: o parte de indigo, două părți de albastru, trei părți de verde, cinci părți de galben, șase părți de portocaliu și zece părți de roșu. Descrieți proporțional cu aceste părți respectiv cercurile  $x$ ,  $v$ ,  $t$ ,  $s$ ,  $r$ ,  $q$ ,  $p$ , adică, dacă cercul  $x$  este unu, cercul  $v$  poate fi unu, cercul  $t$  doi, cercul  $s$  trei și cercurile  $r$ ,  $q$  și  $p$  cinci, șase și zece. Găsind centrul comun de greutate  $Z$  al acestor cercuri și ducînd prin  $Z$  linia  $OY$ , punctul  $Y$  cade pe circumferință între  $E$  și  $F$  și de aici conchid că culoarea compusă din aceste ingrediente va fi un portocaliu, tinzînd puțin mai mult spre roșu decît spre galben. De asemenea găsesc că  $OZ$  este cu ceva mai mică decît jumătatea lui  $OY$ , iar de aici conchid că acest portocaliu are cu ceva mai puțin din jumătatea intensității portocaliului necompus, adică acesta este un portocaliu care poate fi obținut prin amestecul unui portocaliu omogen cu un alb curat în raportul liniei  $OZ$  către linia  $ZY$ , acest raport nefiind al cantităților de praf portocaliu amestecat cu alb, ci al cantităților de lumină reflectată de ambele.

Eu consider această regulă destul de precisă pentru practică, deși nu de precizie matematică, iar adevărul ei poate fi dovedit în mod suficient pentru ochi, oprind unele dintre culori la lentila din experiența a zecea a acestei cărți. Restul culorilor care nu sînt oprite, ci trec spre focarul lentilei vor compune acolo fie exact, fie foarte aproximativ o culoare ce va rezulta potrivit acestei reguli din amestecul lor.

#### PROPOZIȚIA VII. TEOREMA V

*Toate culorile din univers, care sînt produse de lumină și nu depind de puterea imaginației, sînt fie culori ale luminii omogene, fie compuse din acestea, precis sau aproape precis, potrivit regulii din problema precedentă.*

Într-adevăr, s-a demonstrat (în propoziția I, partea a-II-a) că schimbările de culori cauzate de refracții nu provin din nici o mo-

dificare nouă a razelor imprimată de acele refracții și nici de diferitele feluri de granițe dintre lumină și umbră, după cum era opinia constantă și generală a filozofilor. De asemenea s-a dovedit că diversele culori ale razelor omogene corespund constant acelorași grade de refrangibilitate (propoziția I, partea I și propoziția II, partea a II-a) și că gradele lor de refrangibilitate nu pot fi schimbate prin refracții și reflexii (propoziția II, partea I) și acele culori care le corespund sînt întotdeauna aceleași. Iarăși s-a arătat direct prin refracția și reflexia separată a luminilor omogene că culorile lor nu pot fi schimbate (propoziția II, partea a II-a). La fel s-a dovedit că, dacă se amestecă mai multe feluri de raze care, încrucișându-se, trec prin același spațiu, ele nu acționează una asupra alteia astfel ca una să schimbe calitățile de culoare ale celeilalte (experiența 10, partea a II-a), ci amestecîndu-și acțiunile în *sensorium*, produc o senzație diferită de cea pe care ar produce-o fiecare separat, adică senzația unei culori medii între culorile lor proprii; în particular, dacă prin concursul și amestecul tuturor felurilor de raze se produce o culoare albă, albul este un amestec al tuturor culorilor pe care razele le-ar avea separat (propoziția V, partea a II-a). În acest amestec, razele nu-și pierd sau schimbă diversele lor calități de culoare, ci prin toate felurile lor diferite de acțiuni amestecate în *sensorium* dau naștere senzației unei culori medii, care este albul. Căci albul este o medie între toate culorile, aparținînd indiferent tuturor, astfel că ușor poate fi colorat cu oricare dintre ele. Un praf roșu amestecat cu puțin albastru sau unul albastru cu puțin roșu nu-și pierde numai decît culoarea, pe cînd un praf alb amestecat cu altă culoare imediat capătă acea culoare și este deopotrivă capabil să primească orice altă culoare. De asemenea s-a demonstrat că, după cum lumina Soarelui este un amestec de tot felul de raze, la fel albul ei este un amestec al culorilor tuturor felurilor de raze; razele care au de la început diferite calități de culoare ca și propriile lor refrangibilități, menținîndu-le tot timpul neschimbate în ciuda oricăror refracții sau reflexii pe care le pot suferi la un moment dat, și că ori de cîte ori vreun fel de raze solare se separă de rest prin vreun mijloc (ca prin reflexie în experiența 9 și 10, partea I sau prin refracție, cum se întîmplă în orice refracție), ele își manifestă propriile culori. Aceste lucruri au fost demonstrate și toate împreună conduc la propoziția care urmează să fie dovedită. Căci dacă lumina solară este un amestec de diferite feluri de raze, fiecare dintre ele avînd refrangibilitatea și calitatea ei de culoare originală, și totuși reflexiile și refracțiile

lor și diversele lor separări și amestecuri își păstrează proprietățile originare întotdeauna aceleași fără alterare, atunci toate culorile din lume trebuie să fie astfel cum apar în mod constant din calitățile de culoare originare ale razelor, din care constă lumina prin care se văd acele culori. Prin urmare, dacă se caută cauza vreunei culori, nu avem altceva de făcut decît să considerăm în ce chip se despart unele de altele sau se amestecă între ele razele din lumina solară prin reflexie sau refracție sau din alte cauze ori să găsim prin alt mijloc ce fel de tipuri de raze se află în lumina care produce acea culoare și în ce proporție; apoi, cu ajutorul ultimei probleme, să găsim culoarea ce poate apărea din amestecul acelor raze (sau al culorilor lor) în proporția respectivă. Eu vorbesc aici despre culori întru cît ele se nasc din lumină. Într-adevăr, ele apar uneori și din alte cauze, ca atunci cînd prin puterea fanteziei vedem culori în vis sau cînd un nebun vede în fața sa lucruri care nu există sau cînd, lovind ochiul, vedem scînteii, sau cînd, apăsînd un colț al ochiului în timp ce privim în altă parte, vedem culori asemănătoare ochiului din coada unui păun. Cînd nu intervin aceste cauze sau altele asemănătoare, culorile totdeauna corespund felului sau felurilor de raze din care e formată lumina, după cum am găsit constant în orice fenomen de culori pe care am fost în stare să-l examinez pînă acum. În propozițiile următoare voi da cîteva exemple de acestea privitoare la fenomenele mai importante.

#### PROPOZIȚIA VIII. PROBLEMA III

*Cu ajutorul proprietăților descoperite ale luminii să explicăm culorile produse de prisme.*

Fie  $ABC$  (fig. 12) o prismă care refractă lumina solară ce intră într-o cameră întunecată printr-o deschidere  $F\phi$  aproape de dimensiunile prisme, iar  $MN$  o hîrtie albă pe care cade lumina; să presupunem că razele cele mai refrangibile sau cele care dau violetul cel mai închis cad pe spațiul  $P\pi$ , cele mai puțin refrangibile sau cele care provoacă roșul cel mai închis pe spațiul  $T\tau$ , razele medii între cele care produc indigoul și albastrul pe spațiul  $Q\chi$ , razele medii care dau verde pe spațiul  $R\rho$ , razele medii între cele care dau galbenul și portocaliul pe spațiul  $S\sigma$ , iar celelalte raze intermediare pe spațiile intermediare. În acest fel spațiile pe care cad diferitele feluri de raze în mod corespunzător vor fi, potrivit diferitelor refrangibi-



lități, ale acelor feluri de raze unul mai jos decât altul. Dacă hîrtia  $MN$  se află atît de aproape de prismă, încît spațiile  $PT$  și  $\pi\tau$  nu interferează unul cu altul, distanța dintre ele  $T\pi$  va fi luminată de toate felurile de raze în proporția pe care o au la imediata lor ieșire din prismă și, în consecință, ea va fi albă. Pe de altă parte însă, spațiile  $PT$  și  $\pi\tau$  nu vor fi luminate de toate și deci vor apărea colorate.

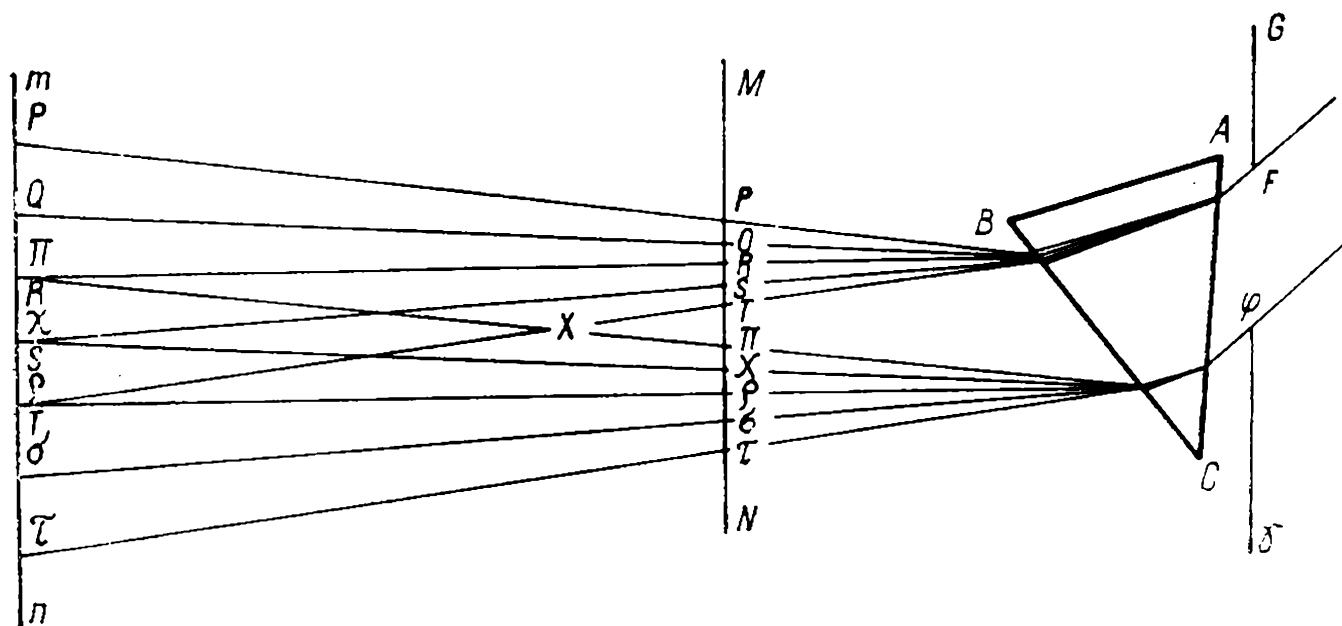


Fig. 12

În particular în  $P$ , unde cad numai razele care dau violet extrem, culoarea trebuie să fie violetul cel mai închis. În  $Q$ , unde se amestecă razele care produc violet și indigo, trebuie să fie un violet care înclină mult spre indigo. În  $R$ , unde se amestecă razele care produc violet, indigo, albastru și jumătate din cele care dau verde, culorile lor trebuie să compună (potrivit construcției din problema a doua) o culoare medie între indigo și albastru. În  $S$ , unde se amestecă toate razele cu excepția celor care dau roșu și portocaliu, culorile lor vor compune, după aceeași regulă, un albastru șters, tinzînd mai mult spre verde decât spre indigo. Înaintînd de la  $S$  spre  $T$ , acest albastru va deveni din ce în ce mai șters și mai slab pînă în  $T$ , unde toate culorile încep să se amestece și se termină în alb.

La fel, de cealaltă parte a albului în  $\tau$ , unde se află numai razele cele mai puțin refrangibile sau cele care dau roșul extrem, culoarea trebuie să fie roșul cel mai închis. În  $\sigma$  amestecul de roșu și portocaliu va compune un roșu înclinînd spre portocaliu. În  $\rho$  ames-

tecul de roșu, portocaliu, galben și jumătate din verde trebuie să compună o culoare medie între portocaliu și galben. În  $\chi$  amestecul tuturor culorilor, afară de violet și indigo, va compune un galben șters, tinzând mai mult spre verde decât spre portocaliu. Acest galben va deveni tot mai șters și mai slab în înaintarea de la  $\chi$  la  $\pi$ , unde printr-un amestec al tuturor felurilor de raze va deveni alb.

Aceste culori ar trebui să apară dacă lumina Soarelui ar fi perfect albă, dar, fiindcă ea înclină spre galben, excesul razelor producătoare de galben, care-i dă această culoare, fiind amestecat cu albastrul șters dintre  $S$  și  $T$ , o va colora într-un verde șters. Astfel ordinea culorilor de la  $P$  la  $\tau$  trebuie să fie: violet, indigo, albastru, verde foarte șters, alb, galben șters, portocaliu și roșu. Aceasta o arată calculul, iar aceia care doresc să privească culorile formate de o prismă le vor găsi la fel și în natură.

Acestea sînt culorile de cele două părți ale albului cînd hîrtia albă este ținută între prismă și punctul  $X$  unde se întîlnesc culorile și cînd albul dintre ele dispăre. Căci, dacă ținem hîrtia mai departe de prismă, razele cele mai mult și cele mai puțin refrangibile vor lipsi din mijlocul luminii, iar restul razelor care se află acolo vor produce prin amestec un verde mai plin decât mai înainte. Galbenul și albastrul de asemenea vor deveni acum mai puțin compuse și, în consecință, mai intense decât mai înainte. Lucrul acesta este de asemenea în concordanță cu experiența.

Dacă privim printr-o prismă un obiect alb înconjurat de negru sau de întuneric, culorile care apar la margini au într-o oarecare măsură aceeași cauză care apare oricui se gîndește cu puțină atenție. Dacă un obiect negru este înconjurat de unul alb, culorile care apar prin prismă trebuie derivate din lumina celui alb, care se împrășteie în regiunile celui negru, și deci apar în ordinea contrară aceleia cînd un obiect alb este înconjurat de unul negru. Același lucru se întîmplă cînd privim un obiect care are unele părți mai puțin luminoase decât altele. Căci la limitele dintre părțile mai mult și mai puțin luminoase ar trebui, după aceleași principii, să apară culori din excesul de lumină al celor mai luminoase și să fie de același fel ca atunci cînd părțile mai întunecate ar fi negre, numai că vor fi mai șterse și mai diluate.

Ceea ce s-a spus despre culorile produse de prismă se poate aplica ușor la culorile formate de lentilele telescoapelor sau microscopelor sau de umorile ochiului. Căci, dacă obiectivul unui telescop este mai gros la o parte decât la cealaltă sau dacă o jumătate a

lentei sau a pupilei ochiului este acoperită cu substanța opacă, obiectivul sau acea parte a lui sau a ochiului care nu e acoperită poate fi considerată drept o pană cu laturile curbate și fiecare pană de sticlă sau de altă substanță transparentă produce același efect ca o prismă când reflectă lumina ce trece prin ea\*.

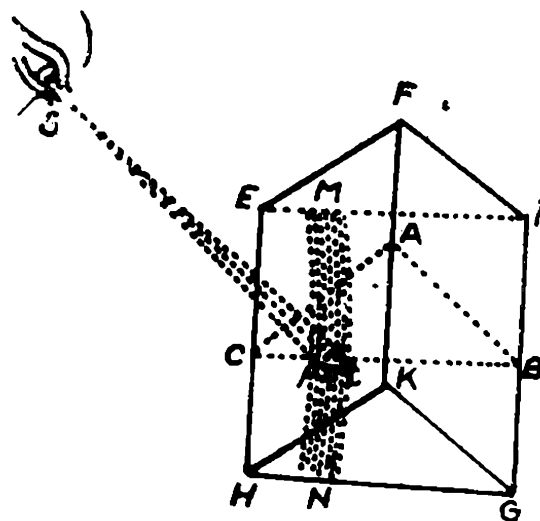


Fig. 13

În ce fel se nasc culorile din diferitele refrangibilități ale luminii în experiența a noua și a zecea din partea întâia este evident din cele spuse acolo. În experiența a noua este însă de observat că, în timp ce lumina solară directă este galbenă, excesul razelor producătoare de albastru în fasciculul de lumină reflectată  $MN$  poate numai să prefacă acel galben într-un alb pal ce înclină spre albastru și nu să-l coloreze cu o culoare limpede albastră. Prin urmare, pentru a obține un albastru mai bun, am folosit în locul luminii galbene a Soarelui lumina albă a norilor, modificînd puțin experiența după cum urmează.

*Experiența 16.* Fie  $HFG$  (fig. 13) o prismă în aer liber, iar  $S$  ochiul unui observator privind norii în lumina ce intră în prismă prin fața plană  $FIGK$ , se reflectă la baza ei  $HEIG$ , și de acolo iese prin fața ei plană  $HEFK$  spre ochi. Când prisma și ochiul se află într-o poziție potrivită, astfel încît unghiurile de incidență și de reflexie de la bază să fie de vreo 40 de grade, observatorul va vedea un arc  $MN$  de culoare albastră mergînd de la un capăt al bazei la celălalt, cu partea concavă spre el, iar partea  $IMNG$  a bazei dincolo de arc va fi mai luminoasă decît cealaltă parte  $EMNH$  a ei. Această culoare albastră  $MN$ , nefiind formată decît din reflexia unei suprafețe reflectătoare, pare un fenomen atît de ciudat și atît de dificil de explicat prin ipotezele obișnuite ale filozofilor, încît nu am putut evita să nu-i dau atenție. Pentru a-i înțelege cauza, să presupunem că planul  $ABC$  taie perpendicular fețele plane și baza prisme. Să ducem de la ochi la linia  $BC$ , în care acel plan taie baza, liniile  $Sp$  și  $St$  sub unghiurile  $SpC$  de  $50\frac{1}{9}$  grade și  $StC$  de  $49\frac{1}{28}$  grade; punctul  $p$  va fi limita dincolo de care nici una dintre razele cele mai re-

\* Vezi Newton, *Lectioes opticae*, partea II, sect. II, pag. 269.

frangibile și care are o incidență ce poate fi reflectată spre ochi nu poate trece și nu se poate refracta prin baza prisme. Punctul  $t$  va fi o limită asemănătoare pentru razele cele mai puțin refrangibile, adică dincolo de care nu poate trece nici una dintre razele ale căror incidente pot ajunge prin reflexie la ochi. În punctul  $r$ , luat la mijloc între  $p$  și  $t$ , va fi o limită asemănătoare pentru razele de refrangibilitate medie. Prin urmare, toate razele mai puțin refrangibile care cad pe bază dincolo de  $t$ , adică între  $t$  și  $B$ , și pot veni de acolo la ochi se vor reflecta acolo, însă dincoace de  $t$ , între  $t$  și  $c$ , unele dintre aceste raze vor traversa baza. Toate razele mai refrangibile care cad pe bază dincolo de  $p$ , adică între  $p$  și  $B$ , și prin reflexie pot ajunge de acolo la ochi pot fi reflectate, dar oriunde între  $p$  și  $c$  unele din aceste raze vor trece prin bază și vor fi refractate; același lucru este valabil pentru razele de refrangibilitate medie de cele două părți ale punctului  $r$ . De aici urmează că baza prisme trebuie să apară la ochi între  $t$  și  $B$  peste tot albă și strălucitoare în urma unei reflexii totale a tuturor felurilor de raze. În orice punct între  $p$  și  $C$ , din cauza transmiterii unor raze de orice fel, lumina trebuie să apară pală, obscură și întunecată. Iar în  $r$  și în celelalte locuri între  $p$  și  $t$ , unde toate razele mai refrangibile se reflectă spre ochi și multe din cele mai puțin refrangibile sînt transmise, excesul celor mai refrangibile în lumina reflectată va colora acea lumină în culorile lor, care sînt violet și albastru. Aceasta se întîmplă dacă luăm linia  $CprtB$  undeva între capetele  $HG$  și  $EI$  ale prisme.

#### PROPOZIȚIA IX. PROBLEMA IV

*Cu ajutorul proprietăților descoperite ale luminii să explicăm culorile curcubeului.*

Acest arc nu apare decît atunci cînd plouă în lumina Soarelui și poate fi realizat artificial aruncînd în sus apă care se poate fragmenta și care, împrăștiindu-se în picături, cade ca ploaia. Soarele, luminînd aceste picături, face să apară un arc observatorului care se află într-o poziție potrivită față de ploaie și Soare. De aceea azi toată lumea e de acord că acest arc este produs de refracția luminii solare în picăturile de ploaie care cad. Acest lucru a fost înțeles de unii dintre antici, iar mai tîrziu complet descoperit și explicat de vestitul *Antonio de Dominis*, arhiepiscop de Spalato\*, în cartea sa *De ra-*

---

\* Split.

*diis visus et lucis\**, publicată de prietenul său *Bartolus* la Veneția în 1611 și scrisă cu vreo 20 de ani în urmă. Într-adevăr, el ne învață că arcul interior se formează în picăturile rotunde de ploaie prin două refracții ale luminii solare și cu o reflexie între ele, iar cel exterior prin două refracții și două reflexii intermediare în fiecare picătură de apă, și dovedește această explicație prin experiențe făcute cu un balon de sticlă plin cu apă și cu sfere de sticlă umplute cu apă și așezate la Soare ca să producă în ele apariția culorilor celor două arce. Aceeași explicație a dat-o și Descartes în *Meteorii* săi și a îmbunătățit pe cea a arcului exterior. Dar, fiindcă ei nu au cunoscut adevărata origine a culorilor, este necesar să ne ocupăm aici ceva mai mult. Deci, pentru a ști cum se formează curcubeul, să reprezentăm o picătură de ploaie sau orice alt corp sferic transparent prin sfera *BNFG* (fig. 14), descrisă cu centrul *C* și semidiametrul *CN*. Fie *AN* o rază solară care cade pe ea în *N* și de aici este refractată în *F*, unde sau iese din sferă prin refracție spre *V*, sau se reflectă spre *G*, iar în *G* sau iese prin refracție spre *R*, sau se reflectă spre *H*; din *H* iese în aer prin refracție spre *S*, tăind raza incidentă în *Y*. Să prelungim *AN* și *RG* pînă ce se întîlnesc în *X*, pe *AX* și *NF* să ducem perpendicularele *CD* și *CE* și să prelungim *CD* pînă ce întîlnește circumferința în *L*. Să trasăm paralel cu raza incidentă *AN* diametrul *BQ* și fie raportul dintre sinusul de incidență din aer în apă și sinusul de refracție  $I/R$ . Dacă presupunem că punctul de incidență *N* se mișcă spre punctul *B* încontinuu pînă ce ajunge în *L*, arcul *QF* va crește și apoi va descrește și la fel unghiul *AXR* pe care-l formează razele *AN* și *GR*, iar arcul *QF* și unghiul *AXR* vor fi maxime cînd  $ND/CN$  este la fel ca  $\sqrt{II - RR}/\sqrt{3RR}$ , în care caz  $NE/ND$  va fi ca  $2R/I$ . De asemenea, unghiul *AYS*, format de razele *AN* și *HS*, mai întîi va descrește, apoi va crește și va ajunge la valoarea minimă cînd  $ND/CN$  este la fel ca  $\sqrt{II - RR}/\sqrt{8RR}$ , în care caz  $NE/ND$  va fi ca raportul  $3R/I$ . La fel unghiul pe care-l formează

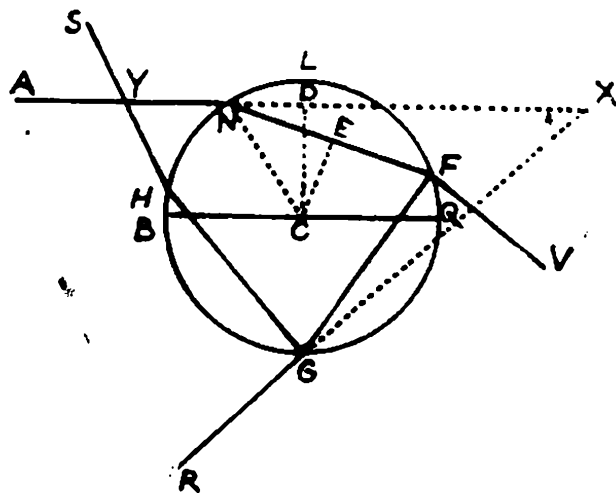


Fig. 14

\* Despre raze, vedere și lumină.

raza emergentă cea mai apropiată (adică raza emergentă după trei reflexii) cu raza incidentă  $AN$  își va atinge limita cînd  $ND/CN$  este ca  $\sqrt{II - RR}/\sqrt{15RR}$ , în care caz  $NE/ND$  va fi ca  $4R/I$ . Iar unghiul pe care raza imediat următoare celei emergente, adică raza emergentă după patru reflexii, îl formează cu cea incidentă va ajunge la limita sa cînd  $ND/CN$  este ca  $\sqrt{II - RR}/\sqrt{24RR}$ , în care caz  $NE/ND$  va fi ca  $5R/I$ , și așa mai departe pînă la infinit, numerele 3, 8, 15, 24 etc. fiind obținute printr-o adunare continuă a termenilor progresiei aritmetice 3, 5, 7, 9 etc. Matematicienii vor verifica cu ușurință adevărul tuturor acestor afirmații \*.

Să observăm că, după cum cînd Soarele ajunge la tropice ziua crește sau descrește foarte puțin un timp mai îndelungat tot așa, cînd prin creșterea distanței  $CD$  aceste unghiuri ajung la limite, cantitățile lor variază foarte puțin pentru mai mult timp. De aceea la limita acestor unghiuri va emerge un număr cu mult mai mare de raze care cad în toate punctele  $N$  din cadranul  $BL$  decît la orice altă înclinație. Mai departe trebuie să observăm că razele care diferă în refrangibilitate vor avea limite diferite ale unghiurilor lor de emergentă și, în consecință, potrivit diferitelor lor grade de refrangibilitate emerg mai abundent sub diferite unghiuri și fiind separate unele de altele apar fiecare în propria sa culoare. Din teorema precedentă se poate găsi ușor prin calcul care sînt aceste unghiuri.

Într-adevăr, pentru razele cele mai puțin refrangibile, sinusurile  $I$  și  $R$  (după cum am găsit mai sus) sînt de 108 și 81 și de aici prin calculul se va afla că unghiul maxim  $AXR$  va fi de 42 de grade și 2 minute, iar unghiul minim  $AYS$  de 50 de grade și 57 minute. Pentru razele cele mai refrangibile sinusurile  $I$  și  $R$  sînt de 109 și 81. De aici prin calcul se va afla că unghiul maxim  $AXR$  va fi de 40 de grade și 17 minute, iar unghiul minim  $AYS$  de 54 de grade și 7 minute.

Să presupunem că  $O$  (fig. 15) este ochiul observatorului, iar  $OP$  o linie trasată paralel cu razele Soarelui și fie  $POE$ ,  $POF$ ,  $POG$ ,  $POH$  unghiuri respectiv de 40 de grade și 17 minute, 42 de grade și 2 minute, 50 de grade și 57 minute și 54 de grade și 7 minute și că aceste unghiuri, prin învîrtirea în jurul laturei lor comune  $OP$ , vor descrie cu celelalte laturi  $OE$ ,  $OF$ ,  $OG$ ,  $OH$  marginile a două curcubeie  $AFBE$  și  $CHDG$ . Într-adevăr dacă  $E$ ,  $F$ ,  $G$ ,  $H$  sînt picături situate undeva pe suprafețele conice descrise de  $OE$ ,  $OF$ ,  $OG$ ,  $OH$  și sînt

\* Vezi Newton, *Lectioes opticae*, partea I, sect. IV, prop. 35 și 36.

luminate de razele solare  $SE$ ,  $SF$ ,  $SG$ ,  $SH$ , unghiul  $SEO$  fiind egal cu unghiul  $POE$  sau cu 40 de grade și 17 minute, va fi unghiul cel mai mare sub care razele cele mai refrangibile se pot refracta spre ochi după o reflexie și de aceea toate picăturile de pe linia  $OE$  vor trimite razele cele mai refrangibile mai abundent spre ochi și deci vor produce în acea regiune senzația culorii violete celei mai închise. La fel,

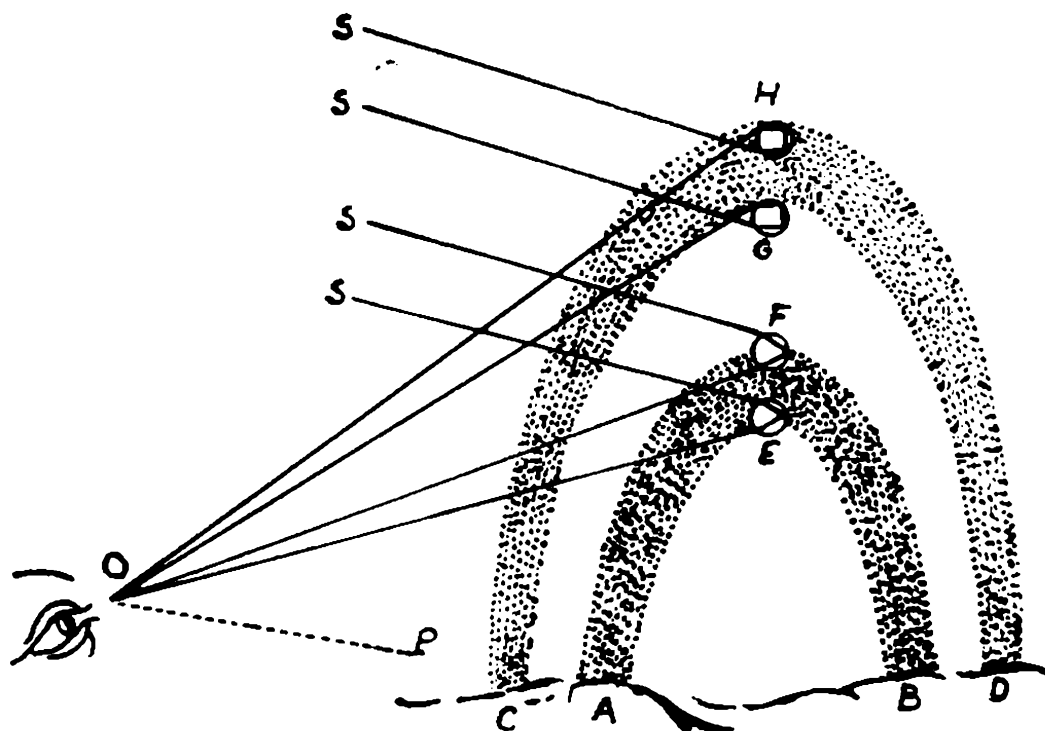


Fig. 15

unghiul  $SFO$ , fiind egal cu unghiul  $POF$  sau cu 42 de grade și 2 minute, va fi cel mai mare în care razele cele mai puțin refrangibile pot ieși din picături după o reflexie și, prin urmare, acele raze vor veni mai abundent spre ochi din picăturile de pe linia  $OF$  și vor produce în acea regiune senzația culorii roșii celei mai închise. Din același motiv, razele care au grade intermediare de refrangibilitate vor veni mai abundent din picăturile dintre  $E$  și  $F$  și vor da senzația culorilor intermediare în ordinea cerută de gradele lor de refrangibilitate, adică progresînd de la  $E$  la  $F$ , de la partea inferioară a arcului spre cea exterioară, în ordinea: violet, indigo, albastru, verde, galben, portocaliu, roșu. Dar violetul, din cauza amestecului cu lumina albă a norilor, va apărea șters, tinzînd spre purpuriu.

La fel unghiul  $SGO$ , fiind egal cu unghiul  $POG$  sau cu 50 de grade și 51 de minute, va fi unghiul cel mai mic sub care razele cele

mai puțin refrangibile pot ieși din picături după două reflexii. De aceea razele cele mai puțin refrangibile vor veni mai abundent spre ochi de la picăturile de pe linia  $OG$  și vor provoca în acea regiune senzația de roșu cel mai închis. Iar unghiul  $SHO$ , fiind egal cu unghiul  $POH$  sau cu 54 de grade și 7 minute, va fi unghiul cel mai mic sub care razele cele mai refrangibile pot, după două reflexii, să iasă din picături și, prin urmare, acele raze vor veni mai abundent spre ochi de la picăturile de pe linia  $OH$  și vor produce în acea regiune senzația violetului celui mai închis. Din același motiv, picăturile din regiunea dintre  $G$  și  $H$  vor produce senzația culorilor intermediare în ordinea pe care o cer gradele lor de refrangibilitate, adică înaintînd de la  $G$  spre  $H$  sau de la interiorul spre exteriorul arcului, în ordinea : roșu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo, violet. Fiindcă cele patru linii  $OE$ ,  $OF$ ,  $OG$ ,  $OH$  pot fi situate oriunde pe suprafețele conice menționate mai sus, ceea ce s-a spus despre picăturile și culorile din aceste linii este valabil și despre oricare dintre picăturile și culorile de pe acele suprafețe.

În acest fel iau naștere două arce de culori, unul interior și mai intens, cu o reflexie în interiorul picăturilor, iar altul exterior și mai șters cu două reflexii, fiindcă lumina devine mai slabă cu fiecare reflexie. Culorile se vor situa în ordine contrară una față de alta, roșul ambelor arce mărginind spațiul  $GF$  care se află între arce. Lățimea arcului interior  $EOF$ , măsurată transversal pe culori va fi de 1 grad și 45 de minute, lățimea celui exterior  $GOH$  de 3 grade și 10 minute, iar distanța  $GOF$  dintre ele va fi de 8 grade și 15 minute, semidiametrul maxim al celui interior, adică unghiul  $POF$ , fiind de 45 de grade și 2 minute, iar semidiametrul minim al celui exterior  $POG$  de 50 de grade și 57 minute. Acestea ar fi valorile arcelor dacă Soarele ar fi un punct; prin lățimea discului acestuia, lățimea arcelor va crește, iar distanța dintre ele va descrește cu o jumătate de grad și astfel lățimea irisului interior va fi de 2 grade și 15 minute, a celui exterior de 3 grade și 40 de minute, distanța lor de 8 grade și 25 de minute, semidiametrul maxim al arcului interior de 42 de grade și 17 minute, iar semidiametrul minim al celui exterior de 50 de grade și 42 de minute. Cam așa se prezintă cu foarte multă aproximație dimensiunile arcelor pe cer cînd culorile lor apar intense și perfecte. Într-adevăr, mai demult, cu mijloacele de care dispuneam atunci, am evaluat mărimea semidiametrului maxim al irisului interior la vreo 42 de grade, iar lățimea roșului, galbenului și a verdei în acel iris la 63 sau 64 de minute, cu excepția roșului extrem și șters și întunecat de luminozitatea norilor, cărora le putem atri-



bui în plus 3 sau 4 minute. Lăţimea albastrului era cu vreo 40 de minute mai mare fără violet, care era atît de întunecat de luminozitatea norilor, încît nu i-am putut măsura lăţimea. Admiţînd că lăţimea albastrului şi a violetului împreună este egală cu cea a roşului, galbenului şi verdelui împreună, întreaga lăţime a acestui iris va fi de aproximativ  $2\frac{1}{2}$  grade, ca mai sus. Distanţa minimă între acest iris şi cel exterior era de vreo 8 grade şi 30 de minute. Irisul exterior era mai lat decît cel interior, dar aşa de şters, mai ales spre partea albastrului, încît nu am putut să-i măsoz bine lăţimea. Cu altă ocazie, cînd ambele arce apăreau mai distinct, am găsit pentru lăţimea irisului interior 2 grade şi 10 minute, iar lăţimea roşului, galbenului şi verdelui din irisul exterior către lăţimea acelorasi culori din cel interior în raportul 3 la 2.

Această explicaţie a curcubeului a fost confirmată şi de cunoscutele experienţe (făcute de *Antonio de Dominis* şi *Descartes*) în care au atîrnat undeva în bătaia Soarelui un balon de sticlă umplut cu apă şi l-au privit într-o astfel de poziţie ca razele care vin de la balon la ochi să poată forma cu razele solare fie un unghi de 42 de grade, fie unul de 50. Căci dacă unghiul este de vreo 42 sau 43 de grade, spectatorul (presupus în  $O$ ) va vedea o culoare roşie aprinsă în partea balonului opusă Soarelui, care este prezentată în  $F$ , şi dacă acel unghi devine mai mic (de exemplu prin coborîrea balonului în  $E$ ), acolo vor apărea alte culori, şi anume galben, verde şi albastru succesiv de aceeaşi parte a balonului. Dacă însă facem ca unghiul să fie de aproximativ 50 de grade (de exemplu ridicînd balonul în  $G$ ), va apărea în acea parte a balonului spre Soare o culoare roşie, iar dacă mărim şi mai mult unghiul (de exemplu înălţînd balonul în  $H$ ), roşul va apărea succesiv în celelalte culori: galben, verde şi albastru. Acelaşi lucru l-am observat lăsînd balonul în repaus şi ridicînd sau coborînd ochiul ori mişcîndu-l altfel pentru a da unghiului o mărime justă.

Am auzit afirmîndu-se că, dacă lumina unei lumînări se refractă printr-o prismă în ochi, atunci, cînd culoarea albastră cade în ochi, observatorul va vedea în prismă roşul, iar cînd roşul cade în ochi va vedea albastrul. Dacă acesta ar fi adevărat, culorile balonului şi ale curcubeului ar trebui să apară în ordine contrară celei pe care o vedem. Dar, culorile lumînării fiind foarte şterse, iluzia pare a proveni din dificultatea de a discerne ce culori ajung în ochi. Dimpotrivă, uneori am avut ocazia să observ în lumina solară refractată de o prismă că spectatorul vede în prismă totdeauna culoarea ce cade în ochiul său. Căci, dacă prisma se abate încet de la linia dusă direct

de la lumînare la ochi, în prismă apare mai întâi roșul și apoi albastrul și, prin urmare, se vede când fiecare dintre ele cade în ochi. Într-adevăr, mai întâi trece prin fața ochiului roșul și apoi albastrul.

Lumina care trece prin picăturile de ploaie după două refracții fără nici o reflexie trebuie să apară mai intensă la o distanță de aproximativ 26 de grade de la Soare și să slăbească gradat fie că distanța de la el crește, fie că ea descrește. Același lucru se referă și la lumina transmisă prin boabele de grindină. Iar dacă grindina este puțin turtită, cum se întâmplă deseori, lumina transmisă poate deveni atât de intensă la o distanță ceva mai mică de 26 de grade, încât să formeze un halou în jurul Soarelui sau al Lunii. De îndată ce boabele de grindină au forma potrivită, haloul poate fi colorat, și atunci trebuie să fie roșu în interior, datorită razelor celor mai puțin refrangibile, și albastru în exterior, datorită razelor celor mai refrangibile, în special dacă boabele de grindină au în centrul lor globule opace cu zăpadă care interceptează lumina din interiorul haloului (după cum a observat *Hugenius*)\*, conturându-i mai bine interiorul decât altfel. Căci boabele de grindină de acest fel, deși sferice, obturând lumina prin zăpadă, pot produce un halou roșu în interior și incolor în exterior și mai întunecos în roșu decât în afară, cum sînt de obicei halourile. Într-adevăr, dintre razele care trec strîns pe lîngă zăpadă, cele roșietice vor fi mai puțin refractate și astfel vin în ochi pe linia cea mai directă.

Lumina care trece printr-o picătură de ploaie după două refracții, și după trei sau mai multe reflexii abia dacă este destul de intensă ca să dea naștere unui curcubeu; dar în cilindrii de gheață prin care *Hugenius* explică *parheliile* probabil ea poate fi sesizabilă.

#### PROPOZIȚIA X. PROBLEMA V

*Cu ajutorul proprietăților descoperite ale luminii să explicăm culorile permanente ale corpurilor naturale.*

Aceste culori provin din faptul că unele corpuri naturale reflectă un fel de raze, iar alte corpuri alt fel de raze mai mult decât restul. Miniul reflectă mai mult razele cele mai puțin refrangibile sau producătoare de roșu și de aceea apare roșu. Viorelele reflectă mult razele mai refrangibile și de acolo și au acea culoare, la fel și celelalte corpuri. Fiecare corp reflectă razele culorii sale proprii mai

---

\* *Christian Huygens*, *Traité de la lumière*, 1690.

abundent decît celelalte și are culoarea de la excesul și predominanța acelor raze în lumina reflectată.

*Experiența 17.* Într-adevăr, dacă în luminile omogene obținute în soluția problemei propusă în propoziția a patra din partea întâi a acestei cărți așezați corpuri de diferite culori, veți afla, după cum am verificat eu însumi, că fiecare corp apare mai strălucitor și mai luminos în lumina culorii sale proprii. Cinabrul în lumina roșie omogenă este mai strălucitor, în lumina verde este vizibil mai puțin strălucitor, iar în cea albastră și mai puțin. Indigoul în lumina violet-albastră este mai strălucitor și luminozitatea lui se diminuează treptat după cum îl deplasăm prin lumina verde și galbenă spre roșu. La praz lumina verde și apoi cea albastră și galbenă care compun verdele sînt reflectate mai intens decît culorile roșu și violet și la fel restul. Dar pentru a face ca aceste experiențe să fie mai evidente trebuie alese acele corpuri care să aibă culorile cele mai pline și vii și să se compare între ele două dintre aceste corpuri. Așa, de exemplu, dacă punem alături cinabru și ultramarin sau vreun alt albastru viu în lumină roșie omogenă, ambii vor apărea roșii, dar cinabrul va apărea de un roșu intens luminos, strălucitor și închis, iar dacă îi așezăm împreună în lumină albastră omogenă, ambii vor apărea albaştri, însă ultramarinul va apărea de un albastru intens luminos și strălucitor, iar cinabrul de un albastru șters și închis. Aceasta pune în afară de discuție faptul că cinabrul reflectă lumina roșie mai abundent decît ultramarinul și că ultramarinul reflectă lumina albastră mai abundent decît cinabrul. Aceeași experiență poate fi efectuată cu succes cu miniu și indigo sau cu alte două corpuri colorate dacă ținem bine seama de intensitatea mai mare sau mai mică a culorilor și a luminii lor.

Așa dar, cauza culorilor corpurilor naturale este evidentă din aceste experiențe; de altfel ea a fost confirmată și pusă în afara oricărei discuții prin primele două experiențe din partea întâi, în care s-a dovedit la astfel de corpuri că razele de lumină reflectată care diferă ca culoare se deosebesc și în gradele lor de refrangibilitate. De aici rezultă în mod cert că unele corpuri reflectă mai mult razele mai refrangibile, iar altele cele mai puțin refrangibile.

Iar faptul că aceasta nu este numai cauza adevărată a acestor culori, ci chiar singura cauză, mai poate apărea și din considerația că culoarea luminii omogene nu poate fi schimbată prin reflexia corpurilor naturale.

Într-adevăr, dacă corpurile nu pot schimba cît de puțin prin reflexie culoarea vreunui fel de raze, ele nu pot apărea colorate prin

nici un alt mijloc decît reflectînd acele raze care fie că au aceeași culoare cu ele, fie că trebuie s-o producă prin amestec.

Cînd efectuăm experiențe de acest fel trebuie să avem grijă ca lumina să fie suficient de omogenă. Căci dacă luminăm corpurile cu culorile prismatice ordinare, ele nu vor apărea nici în culorile pe care le au la lumina zilei, nici în culoarea luminii ce cade pe ele, ci într-o culoare oarecare intermediară, după cum am găsit prin experiență. Astfel, de exemplu, miniul luminat cu un verde prismatic ordinar nu va apărea nici roșu, nici verde, ci portocaliu sau galben ori între galben și verde, după cum lumina verde cu care este luminat este mai mult sau mai puțin compusă. Într-adevăr, deoarece miniul apare roșu cînd este luminat cu lumină albă, în care sînt amestecate în mod egal toate felurile de culori, iar în lumina verde nu sînt amestecate în mod egal toate felurile de raze, excesul celor producătoare de galben, verde și albastru în lumina verde incidentă va face ca acele raze să fie atît de abundente în lumina reflectată, încît să deplaseze culoarea de la roșu spre culoarea lor. Fiindcă miniul reflectă razele producătoare de roșu mai abundent, proporțional cu numărul lor, și imediat după ele vor fi razele producătoare de portocaliu și galben, aceste raze în lumina reflectată vor fi în proporție mai mare către lumina totală decît erau către lumina verde incidentă, de aceea vor deplasa lumina reflectată de la verde spre culoarea lor. În consecință, miniul nu va apărea nici roșu, nici verde, ci de o culoare intermediară.

În lichidele transparente colorate se observă că culoarea lor de obicei variază cu grosimea stratului. Așa, de exemplu, un lichid roșu dintr-o sticlă conică ținut între lumină și ochi, prezintă la fund, unde stratul este îngust, un galben pal și slab, iar ceva mai sus, unde acesta este mai gros, trece în portocaliu; unde stratul este mai gros devine roșu, iar unde este și mai gros roșul este foarte închis și întunecat. Se înțelege că un astfel de lichid oprește razele producătoare de indigo și violet mai ușor, cele producătoare de albastru mai greu, cele producătoare de verde și mai greu, iar cele producătoare de roșu cel mai greu; dacă grosimea stratului de lichid este atît de mare încît să oprească un număr corespunzător de raze producătoare de violet și indigo fără a micșora numărul celorlalte, restul trebuie (potrivit propoziției VI, partea a II-a) să compună un galben-pal. Dacă însă stratul lichidului este atît de gros încît oprește și un număr mare de raze producătoare de albastru și o parte din cele producătoare de verde, restul trebuie să compună un portocaliu, iar unde este atît de gros încît oprește și un mare număr de raze producătoare de verde și un număr considerabil de raze producătoare de galben, restul trebuie

să înceapă a compune un roșu, și acest roșu să devină mai închis și mai întunecat după cum razele producătoare de galben și de portocaliu sînt din ce în ce mai mult oprite cu creșterea grosimii stratului de lichid, astfel că puține raze, în afară de cele producătoare de roșu pot să-l traverseze.

O astfel de experiență mi-a relatat-o de curînd d. *Halley*,\* care, cufundîndu-se adînc în mare cu un vas cufundător, a observat într-o zi senină luminoasă cu soare, cînd era la adîncime de cîtiva stînji marini\*\* în apă, că partea de sus a mîinii sale, pe care lumina solară cădea direct prin apă și printr-o fereastră mică de sticlă în vas, apărea într-o culoare roșie asemănătoare cu a trandafirului de Damasc, pe cînd apa de dedesubt și din partea de jos a mîinii, luminată de lumina reflectată de apa de dedesubt, apărea verde. De aici se poate deduce că apa mării reflectă mai ușor razele producătoare de violet și albastru și lasă să treacă mai ușor și mai mult pînă la mari adîncimi razele producătoare de roșu. De aceea lumina solară directă la cele mai mari adîncimi, datorită predominării razelor producătoare de roșu, trebuie să apară roșie; cu cît este adîncimea mai mare, cu atît trebuie să fie roșul mai plin și mai intens. La o adîncime în care razele producătoare de violet abia pot pătrunde, razele producătoare de albastru, verde și galben fiind reflectate de jos mai abundent decît cele producătoare de roșu, trebuie să compună un verde.

Dacă avem două lichide de culori bine definite, de exemplu roșu și albastru, și fiecare dintre ele fiind într-un strat atît de gros încît să prezinte culorile lor în toată plinătatea, atunci, deși fiecare lichid este destul de transparent, totuși nu veți reuși să priviți prin amîndouă. Căci dacă printr-unul trec numai razele producătoare de roșu, iar prin celălalt numai cele producătoare de albastru, nici o rază nu le va traversa pe amîndouă. Aceasta a verificat-o întîmplător d. *Hooke*\*\*\* cu sticle în formă de pană umplute cu lichide roșii și albastre și a fost surprins de priveliștea neașteptată, a cărei cauză atunci era necunoscută; aceasta mă face să dau mai multă crezare experienței sale, cu toate că eu însumi nu am făcut-o. Dar cine vrea s-o repete trebuie să ia măsuri ca lichidele să fie de culoare pură și intensă.

Deoarece corpurile își capătă culoarea prin reflexia sau prin transmiterea unui sau altui fel de raze mai abundente decît a restului, este de înțeles că ele opresc și absorb razele pe care nu le reflectă sau

---

\* În 1716.

\*\* 1 stîngen marin = 1,82 m.

\*\*\* *Micrographia*, 1665.

nu le transmit. Într-adevăr, dacă ții între ochi și lumină o foiță de aur lumina, apare verde-albăstruie și de aceea aurul masiv lasă să intre în interiorul său razele producătoare de albastru și să se reflecte dintr-o parte în alta pînă ce sînt oprite și absorbite, în timp ce reflectă în exterior cele care produc galbenul și de aceea se vede galben. În același fel, după cum foița de aur este galbenă în lumina reflectată și albastră în cea transmisă, iar aurul masiv este galben în toate pozițiile față de ochi, sînt și cîteva lichide, ca tinctura de *lignum nephriticum*, și unele soiuri de sticlă, care transmit un gen de lumină mai abundent și pe un altul îl reflectă, și de aceea se văd în diverse culori după poziția ochiului față de lumină. Dar dacă aceste lichide sau sticle ar fi atît de groase și de masive încît nici o lumină să nu poată trece prin ele, sînt sigur că ele vor apărea într-una și aceeași culoare ca și corpurile opace în toate pozițiile lor față de ochi, deși nu afirm aceasta din experiență, ci după observațiile mele. Toate corpurile colorate pot fi făcute străvezii dacă sînt de ajuns de subțiri și, prin urmare, sînt într-o anumită măsură transparente și se deosebesc de lichidele colorate transparente numai prin gradul de transparență; aceste lichide, ca și acele corpuri, la o grosime suficientă devin opace. Un corp transparent care apare într-o culoare în lumină transmisă poate apărea în aceeași culoare în lumină reflectată, lumina acelei culori fiind reflectată de suprafața posterioară a corpului sau de aerul din spatele lui. Atunci culoarea reflectată va slăbi și poate va dispărea dacă facem ca corpul să fie foarte gros și acoperindu-i spatele cu smoală pentru a-i micșora reflexia la suprafața posterioară, astfel ca să poată predomina lumina reflectată de particulele colorate. În astfel de cazuri, culoarea luminii reflectate va putea diferi de aceea a luminii transmise. Cauza pentru care corpurile și lichidele colorate reflectă un anumit fel de raze și pe altele le lasă să intre sau le transmit se va arăta în cartea următoare. În această propoziție mă mulțumesc de a fi pus în afară de orice discuție faptul că corpurile posedă astfel de proprietăți și de aceea apar colorate.

#### PROPOZIȚIA XI. PROBLEMA VI

*Să compunem într-un amestec de lumini colorate un fascicul de lumină de aceeași culoare și natură cu un fascicul de lumină solară directă și de aici să verificăm adevărul propozițiilor precedente.*

Fie  $ABC\ abc$  (fig. 16) o prismă în care lumina solară, care intră într-o cameră întunecată prin orificiul  $F$ , poate fi refractată spre lentila  $MN$  și produce pe ea în  $p, q, r, s$  și  $t$  culorile obișnuite : violet, albastru, verde, galben și roșu, și să facem ca razele divergente să convergă prin refracție printr-o lentilă din nou spre  $X$ , iar acolo, amestecându-se toate culorile, să compună un alb, după cum s-a

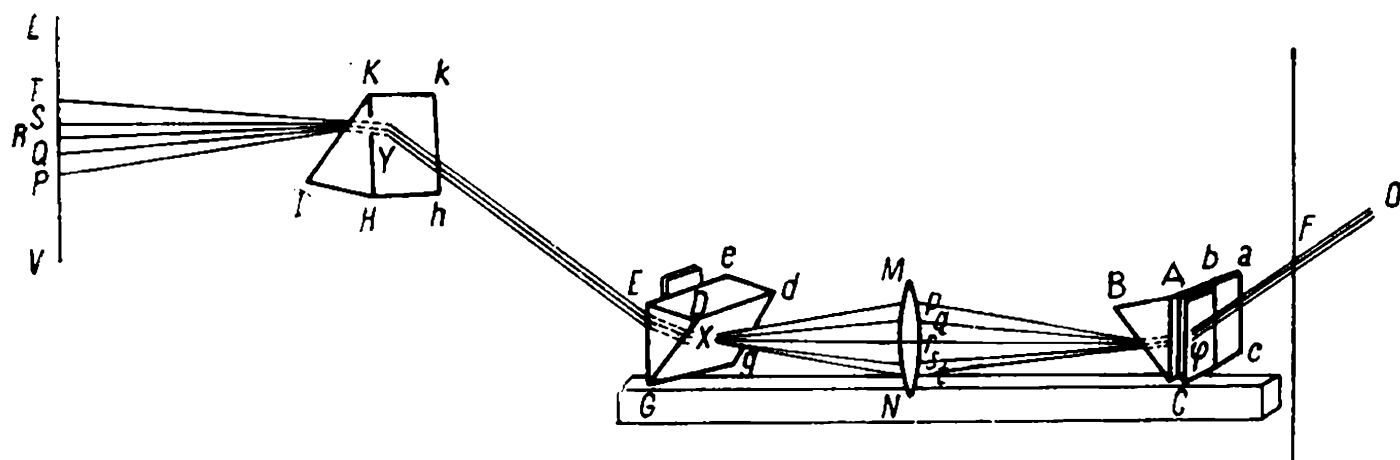


Fig. 16

arătat mai sus. Să așezăm apoi în  $X$  o a doua prismă  $DEGdeg$  paralelă cu cea dintâi, ca să refracte acea lumină albă în sus spre  $Y$ . Fie unghiurile de refracție ale prisme egale și la distanțe egale de lentilă, astfel că razele care converg de la lentilă spre  $X$  fără refracție vor fi acolo încrucișate și iarăși făcute să divergă, putând fi reduse printr-o refracție în a doua prismă la paralelism și să nu mai fie divergente. Atunci acele raze vor recompu o lumină albă  $XY$ . Dacă unghiul de refracție al uneia dintre cele două prisme este mai mare, acea prismă trebuie să fie cu atât mai aproape de lentilă. Veți constata, dacă prisma și lentila sînt bine potrivite între ele, că fasciculul de lumină  $XY$  ce iese din prisma a doua este perfect alb pînă la marginile extreme ale luminii și continuă să rămînă perfect și total alb la fel ca un fascicul de lumină solară. Pînă cînd nu are loc acest fapt, trebuie să corectăm pozițiile prismelor și lentilei una față de alta; apoi, dacă ele se fixează în acea poziție cu ajutorul unei grinzi de lemn, cum e reprezentat în figură, sau cu un tub ori cu un alt instrument de acest fel făcut în acest scop, puteți încerca cu ajutorul fasciculului de lumină compusă  $XY$  toate experiențele ce s-au făcut cu lumina solară directă. Într-adevăr, acest fascicul de lumină compusă, după cît îmi permit observațiile, are același aspect și este înzestrat cu toate proprietățile

pe care le posedă un fascicul direct de lumină solară. Încercînd experiențe cu acest fascicul, puteți vedea că, dacă opriți oricare din culorile  $p$ ,  $q$ ,  $r$ ,  $s$  și  $t$  la lentilă, culorile produse experimental nu sînt altele decît acelea pe care le aveau razele la lentilă înainte ca ele să fi intrat în compunerea acestui fascicul; în consecință, ele nu provin din vreo nouă modificare a luminii prin refracții și reflexii, ci prin variatele separări și amestecuri ale razelor inițial înzestrate cu calitățile lor producătoare de culori.

De exemplu, formînd cu o lentilă lată de  $4 \frac{1}{2}$  inch și două prisme la cîte  $6 \frac{1}{4}$  picioare depărtare de lentilă un astfel de fascicul de lumină compusă pentru a examina cauza culorilor produse de prismă, am refractat fasciculul  $XY$  de lumină compusă cu o altă prismă  $HIKkh$  și apoi am proiectat culorile prismatice  $PQRST$  pe hîrtia  $LV$ , așezată în spate. Oprind atunci una dintre culorile  $p$ ,  $q$ ,  $r$ ,  $s$ ,  $t$  de la lentilă, am găsit că aceeași culoare dispărea și de pe hîrtie. Dacă opream la lentilă purpuriul  $p$ , atunci dispărea imediat purpuriul  $P$  de pe hîrtie, iar celelalte culori rămîneau complet neschimbate, eventual cu excepția albastrului, întrucît puțin purpuriu, fiind încă ascuns în el la lentilă, era îndepărtat sau separat de albastru prin refracțiile următoare. În acest fel, interceptînd verdele la lentilă, dispărea și verdele  $R$  de pe hîrtie și la fel restul, ceea ce ne arată lămurit că, după cum fasciculul de lumină albă  $XY$  era compus din diferite lumini colorate variat la lentilă, tot așa culorile care după aceea emerg din ea prin noi refracții nu sînt altceva decît acelea din care era compus albul lui. Refracția prisme  $HIKkh$  nu generează culorile  $PQRST$  pe hîrtie schimbînd calitățile de culoare ale razelor, ci separînd razele care aveau exact aceleași calități de culoare înainte de a intra în compunerea fasciculului refractat de lumină albă  $XY$ . Altfel razele care erau de o culoare la lentilă pot avea alta pe hîrtie, ceea ce este contrar cu ceea ce observăm.

Pentru a mai examina o dată cauza culorilor corpurilor naturale am așezat astfel de corpuri în fasciculul de lumină  $XY$  și am constatat că acolo toate apăreau în culorile lor proprii pe care le au în lumina zilei și că acele culori depind de razele care aveau aceleași culori la lentilă înainte de a intra în compunerea fasciculului. Așa, de exemplu, cinabrul luminat de acest fascicul apare în aceeași culoare roșie ca în lumina zilei; dacă la lentilă interceptați razele producătoare de verde și de albastru, roșul lui va deveni mai plin și mai viu. Dacă însă interceptați razele producătoare de roșu, el nu va mai apărea roșu, ci devine galben sau verde ori altă culoare, după felurile



razelor pe care nu le interceptați. Astfel aurul în lumina  $XY$  apare de aceeași culoare galbenă ca în lumina zilei, dar, interceptînd la lentilă o cantitate potrivită de raze producătoare de galben, va apărea alb ca argintul (după cum am verificat), ceea ce arată că albul lui depinde de excesul razelor interceptate ce colorează acel alb cu culoarea lor cînd sînt lăsate să treacă. La fel infuzia de *lignum nephriticum* (după cum de asemenea am verificat), cînd este ținută în fasciculul de lumină  $XY$ , apare albastră în partea reflectată a luminii și roșie în partea ei transmisă, ca atunci cînd o privim în lumina zilei; dar, dacă interceptați albastrul la lentilă, infuzia își va pierde culoarea albastră reflectată pe cînd roșul ei transmis rămîne perfect, iar la pierderea unor raze producătoare de albastru, cu care era amestecat, devine mai intens și mai plin. Dimpotrivă, dacă la lentilă se interceptează razele producătoare de roșu și de portocaliu, infuzia își va pierde roșul transmis, în timp ce albastrul va rămîne și va deveni mai plin și mai perfect. Aceasta dovedește că infuzia nu colorează razele în albastru și roșu, ci numai transmite mai abundent pe acelea care mai înainte erau producătoare de roșu și reflectă mai abundent pe acelea care mai înainte erau producătoare de albastru. În același fel se pot examina cauzele altor fenomene, făcînd experiențe cu ele în fasciculul artificial de lumină  $XY$ .

# Cartea a doua a O P T I C I I

## PARTEA I

*Observații privitoare la reflexiile, refracțiile și culorile corpurilor subțiri transparente.*

S-a observat de către alții\* că substanțe transparente, ca sticla, aerul etc., dacă le suflăm în bule foarte subțiri sau printr-un alt mod le dăm o formă de plăci, prezintă diverse culori, potrivit diferitelor lor grosimi, cu toate că la grosimi mai mari ele apar foarte clare și incolore. În cartea I precedentă m-am abținut de la tratarea acestor culori, pentru că păreau mai greu de considerat și nu erau necesare pentru stabilirea proprietăților luminii discutate acolo. Dar fiindcă ele pot duce la noi descoperiri pentru completarea teoriei luminii, în special în ce privește constituția părților corpurilor naturale, de care depind culorile și transparența lor, voi face aici o expunere a lor. Pentru a face expunerea scurtă și clară voi descrie mai întâi observațiile mele principale și apoi le voi considera și mă voi folosi de ele. Observațiile sînt următoarele.

*Observația 1.* Apăsînd cu putere două prisme una de cealaltă astfel ca fețele lor (care din întîmplare erau foarte puțin convexe) să ajungă undeva în contact, am găsit că locul în care se atingeau devenea absolut transparent, ca și cînd acolo ar fi fost o bucată continuă de sticlă. Într-adevăr, cînd lumina cădea atît de oblic pe aerul care se afla în unele locuri între ele încît era în întregime reflectată, în locul de contact părea că este total transmisă, atît de mult încît, dacă o priveam, apărea ca o pată neagră sau întunecoasă din cauză că de acolo se reflecta lumină foarte puțină sau imperceptibilă, nu

---

\* Expresie vagă. De fapt singur Hooke, pe care Newton nu-l amintește aici, a observat înaintea lui că culorile lamelor subțiri depind de grosimea acestora.

ca din celelalte părți; dacă priveam prin ea, părea (cum și era) ca un gol în aerul care alcătuia o pătură îngustă, fiind comprimat între sticle. Prin acest gol se puteau vedea distinct obiecte situate dincolo, care nu puteau fi văzute de loc prin celelalte părți ale sticlei unde se interpunea aerul. Deși sticlele erau puțin convexe, totuși această pată transparentă era considerabil de largă; lărgimea ei părea că provine mai cu seamă din cedarea către interior a părților sticlelor în urma presiunii lor una pe alta. Căci prin presarea lor reciprocă foarte intensă ea devenea cu mult mai largă decât altfel.

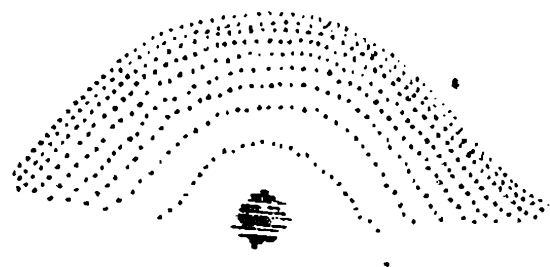


Fig. 1

*Observația 2.* Dacă prin rotirea prismelor stratul de aer din jurul axei lor comune devenea atât de puțin înclinat față de razele incidente încât unele dintre ele începeau să fie transmise, în el luau naștere mai multe arce înguste, de culori care la început aveau mai mult forma unei concoide\*, după cum le vedeți trasate în figura 1. Prin continuarea rotației prisme, arcele creșteau și se încovoiau din ce în ce mai mult în jurul petei transparente amintite, pînă ce se întregeau în cercuri sau în inele\*\* în jurul ei și după aceea se contractau din ce în ce mai mult.

La prima lor apariție, aceste inele erau de o culoare violetă și albastră și între ele se aflau arce albe de cercuri, care acum, prin continuarea rotației prisme, se colorau puțin la marginile lor interioare în roșu și galben, iar marginile exterioare erau învecinate de albastru. În acest fel, ordinea culorilor de la pata întunecoasă era în acel moment alb, albastru, violet, negru, roșu, portocaliu, galben, alb, albastru, violet etc. Galbenul și roșul erau însă cu mult mai slabe decât albastrul și violetul.

Continuînd rotația prismelor în jurul axei lor comune, culorile se contractau tot mai mult, strîngîndu-se din amîndouă părțile spre ea pînă ce dispăreau cu totul în aceasta. Atunci cercurile apăreau în acele părți negre și albe fără amestecul vreunei culori. Dar, con-

\* Curbă algebrică plană de gradul 4 de forma unei scoici construită de geometrul grec Nicomede (250—150 î.e.n.) și folosită de el la rezolvarea problemei trisecțiunii unghiului și a dublării cubului. Newton a dat o mare atenție acestei curbe de care s-a servit la reprezentarea geometrică a tuturor ecuațiilor de gradul 3 și 4.

\*\* Aceste figuri colorate poartă azi numirea de *inelele lui Newton*.

tinuînd rotația prisme și mai departe, culorile apăreau din nou din alb : la marginea interioară violetul și albastrul, iar roșul și galbenul la cea exterioară. Astfel acum ordinea lor de la pata centrală era alb, galben, roșu, negru, violet, albastru, alb, galben, roșu etc., inversă celei de mai înainte.

*Observația 3.* Când inelele sau anumite părți ale lor apăreau numai albe și negre, ele erau foarte distincte și bine definite, iar negrul lor părea tot atât de intens ca și cel al petei centrale. Chiar la marginile inelelor, unde culorile începeau să apară din alb, ele erau foarte distincte, ceea ce făcea să fie vizibilă o mulțime foarte mare dintre ele. Eu am numărat uneori peste treizeci de succesiuni (considerînd fiecare negru și alb ca o succesiune) și am văzut și mai multe, pe care, din cauza îngustimii lor, nu le-am putut număra. În alte poziții ale prismelor însă, în care inelele apăreau în mai multe culori, nu am putut distinge mai mult de opt sau nouă și exteriorul lor era foarte confuz și șters.

În aceste două observații, pentru a vedea inelele distinct și fără vreo altă culoare decît alb și negru, am găsit că trebuie să-mi țin ochiul la o distanță bună de ele. Într-adevăr, la o apropiere mai mare, chiar la aceeași înclinare a ochiului față de planul inelelor, se ivea din alb o culoare albăstruie, care, diluîndu-se tot mai mult în negru, făcea culorile mai puțin distincte, lăsînd albul puțin colorat cu roșu și galben. De asemenea, privind printr-o crăpătură sau o deschidere lunguiață, care era mai îngustă decît pupila ochiului meu și ținută aproape de el și paralel cu prisma, am putut vedea cercurile mult mai distinct și vizibil în număr mai mare decît altfel.

*Observația 4.* Pentru a observa mai minuțios ordinea culorilor care apăreau din cercurile albe cînd razele deveneau din ce în ce mai înclinate față de stratul de aer, am luat două lentile-obiectiv : una planconvexă de la un telescop de patrușprezece picioare, iar cealaltă mare, biconvexă, de la unul de aproximativ cincizeci picioare ; așezînd-o pe aceasta peste cealaltă cu fața sa plană în jos, le-am presat ușor una pe alta ca să fac să apară culorile succesiv în mijlocul cercurilor, apoi am ridicat sticla de sus de pe cea de jos pentru a le face să dispară iarăși succesiv în același loc. La apăsarea reciprocă a sticlelor, culoarea care apărea ultima în mijlocul celorlalte culori avea la prima sa apariție aspectul unui cerc de o culoare aproape uniformă de la circumferință spre centru și, prin comprimarea mai mare a lentilelor, devenea încontinuu mai mare, pînă ce în centrul ei apărea o nouă culoare și astfel devenea un inel care cuprindea acea nouă culoare. Apăsînd lentilele și mai mult, diametrul aces-

tui inel creștea, în timp ce lățimea orbitei sau perimetrului său descreștea pînă ce apărea o nouă culoare în centrul celui din urmă și așa mai departe pînă ce apăreau succesiv o a treia, a patra, a cincea și alte culori noi și deveneau inele care cuprindeau culoarea cea mai din interior, ultima fiind pata neagră. Dimpotrivă, ridicînd lentila de sus de pe cea de jos, diametrul inelelor descreștea, iar lățimea orbitelor lor creștea pînă ce culorile lor ajungeau în centru; atunci, devenind considerabil de late, am putut deosebi și distinge felurile lor mai ușor decît înainte. Prin acest mijloc am observat succesiunea și intensitățile lor după cum urmează.

După pata centrală transparentă născută la contactul lenti-  
lelor urma albastrul, albul, galbenul și roșul. Albastrul era în cantitate atît de mică, încît nu l-am putut distinge în cercurile produse de prisme, nu am putut deosebi aici nici violetul, în schimb însă galbenul și roșul erau în mare cantitate și păreau aproape tot atît de extinse ca și albul și de patru sau cinci ori mai mult decît albastrul. Următorul circuit în ordinea culorilor, cuprinzîndu-l imediat pe acesta, era alcătuit din violet, albastru, verde, galben și roșu și toate acestea erau intense și vii, cu excepția verdelui, care era în cantitate foarte mică și părea cu mult mai slab și mai diluat decît celelalte culori. Dintre celelalte patru, violetul era cel mai puțin extins, iar albastrul mai puțin decît galbenul sau roșul. Circuitul sau ordinul al treilea conținea purpuriul, albastrul, verdele, galbenul și roșul; în acesta purpuriul părea mai roșiatic decît violetul din circuitul precedent, iar verdele era cu mult mai bătător la ochi, fiind mai viu și mai intens ca oricare din celelalte culori, cu excepția galbenului, însă roșul începea să fie puțin șters, înclinînd foarte mult spre purpuriu. După acesta urma al patrulea circuit din verde și roșu. Verdele era foarte intens și viu, înclinînd de o parte spre albastru, de cealaltă parte spre galben. Dar în acest al patrulea circuit nu era nici violet, nici albastru sau galben, iar roșul era foarte imperfect și impur. Culorile care urmau de asemenea deveneau tot mai imperfecte și mai diluate pînă ce, după trei sau patru revoluții, se terminau printr-un alb desăvîrșit. Forma lor, cînd lentilele erau atît de apăsate încît făceau să apară în centru pata neagră, este schițată în figura 2, unde *a, b, c, d, e; f, g, h, i, k; l, m, n, o, p; q, r; s, t; v, x; y, z* reprezintă culorile considerate pe rînd de la centru: negru, albastru, verde, galben, roșu; purpuriu, albastru, verde, galben, roșu; verde, roșu albastru verzui, roșu pal; albastru verzui, alb roșiatic.

*Observația 5.* Pentru a determina intervalul dintre lentilă sau grosimea aerului interpus la care se producea fiecare culoare, am măsurat diametrele primelor șase inele în partea cea mai luminoasă a orbitelor lor și, ridicându-le la pătrat, am găsit că pătratele sînt în progresia aritmetică a numerelor fără soț : 1, 3, 5, 7, 9, 11. Fiindcă una dintre aceste lentile era plană, iar cealaltă sferică, inter-

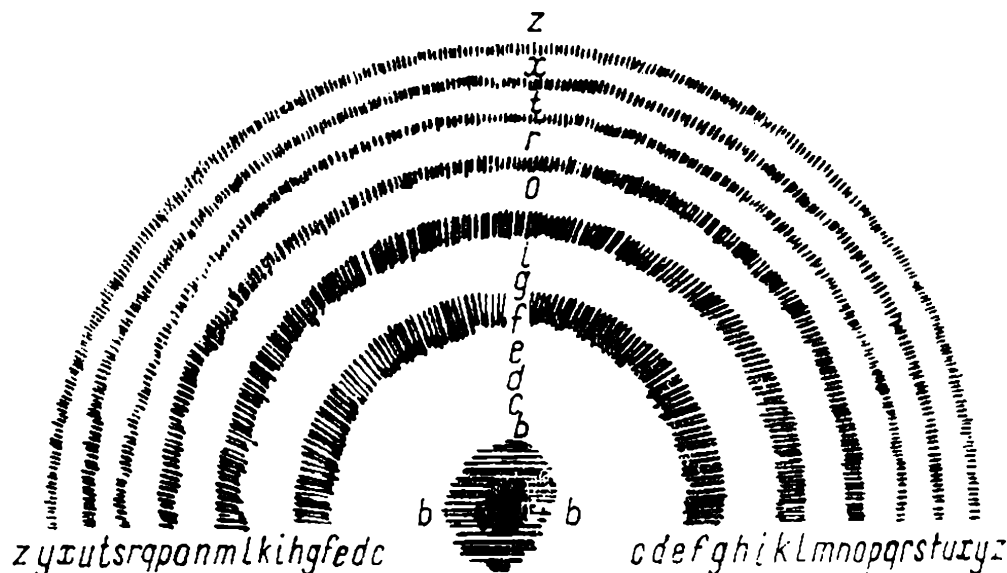


Fig. 2

valele lor pînă la aceste inele trebuie să fie în aceeași progresie. Am măsurat de asemenea diametrele inelelor negre sau neclare dintre culorile mai vii și am aflat că pătratele lor sînt în progresia aritmetică a numerelor cu soț : 2, 4, 6, 8, 10, 12. Fiind foarte minuțios și dificil să efectuez măsurătorile exact, le-am repetat de mai multe ori în diferite părți ale lentilelor și prin concordanța lor am putut să le confirm. Am folosit aceeași metodă și la determinarea unora dintre observațiile următoare.

*Observația 6.* Diametrul inelului al șaselea în partea cea mai luminoasă a orbitei sale era de  $\frac{58}{100}$  inch, iar diametrul sferei din care era șlefuită lentila obiectiv biconvexă era de aproximativ 102 picioare și de acolo am dedus grosimea aerului sau intervalul de aer dintre lentile la acel inel. Dar apoi am bănuir că, făcînd aceste observații, nu am determinat diametrul sferei cu precizie suficientă, nefiind sigur dacă lentilele plan-convexe erau cu adevărat plane și nu puțin convexe sau concave pe partea pe care o consideram plană; atunci cînd nu apăsam lentilele una pe alta cum aveam obiceiul ca să le aduc în contact (căci la presarea reciprocă a acestor lentile păr-

tile lor cedau ușor spre interior și deci inelele deveneau simțitor mai largi decât dacă lentilele și-ar fi păstrat forma). Am repetat experiența și am găsit că diametrul inelului al șaselea luminos era de  $\frac{55}{100}$

inch. Am repetat experiența și cu o lentilă-obiectiv a unui alt telescop pe care-l aveam la îndemână. Aceasta era biconvexă, șlefuită de ambele părți după aceeași sferă, iar focarul ei era la o distanță de  $83\frac{2}{5}$  inch de ea. De aici, dacă sinusul de incidență și de refrac-

ție al luminii galbene strălucitoare se ia în raport de 11/17, diametrul sferei după care a fost modelată lentila se găsește că este de 182 inch. Eu am pus această lentilă peste una plană, astfel că pata neagră apărea în mijlocul inelelor colorate fără nici o altă apăsare decât cea a greutateii sticlei. Măsurînd acum cît am putut de precis diametrul celui de-al cincilea cerc colorat, am aflat că are precis o cincime de inch. Această măsură a fost luată cu vîrfurile unui compas la suprafața superioară a sticlei de sus, iar ochiul meu era la vreo opt sau nouă inch depărtare de sticlă, aproape perpendicular deasupra ei, iar sticla avea grosimea de  $\frac{1}{6}$  inch. De aici este ușor de aflat că diametrul adevărat al inelului dintre sticle era mai mare decât diametrul său măsurat deasupra sticlei, aproape în raportul de 80/79 și, în con-

secință, egal cu  $\frac{16}{79}$  inch, iar semidiametrul său adevărat cu  $\frac{8}{79}$  inch. Apoi, după cum este diametrul sferei (182 inch) către semidiametrul celui de-al cincilea inel întunecos ( $\frac{8}{79}$  inch), la fel este acest semidiametru către grosimea aerului la al cincilea inel întunecos, care, prin urmare, este de  $\frac{32}{567\ 931}$  sau  $\frac{100}{1\ 774\ 784}$  inch, și de aici a

cincea parte, adică  $\frac{1}{88\ 739}$  inch, este grosimea aerului la primul inel negru.

Aceeași experiență am repetat-o cu altă lentilă-obiectivă biconvexă, șlefuită în ambele părți după aceeași sferă. Focarul ei era la o distanță de  $168\frac{1}{2}$  inch și, prin urmare, diametrul sferei era de

184 inch. Această sferă fiind pusă pe aceeași sticlă plană, diametrul celui de-al cincilea sau al șaselea inel întunecos, cînd pata neagră din centrul lor apărea clar fără apăsarea sticlelor, prin măsurarea

cu compasul pe sticla superioară era de  $\frac{121}{600}$  inch, și, în consecință, între lentile era  $\frac{1\ 222}{6\ 000}$ , căci lentila de sus avea grosimea de  $\frac{1}{8}$  inch, iar ochiul meu era la o distanță de 8 inch de ea. Al treilea raport între jumătatea lui și diametrul sferei este de  $\frac{5}{88\ 850}$  inch. Așadar, aceasta este grosimea aerului la acest inel, iar a cincea parte din ea, adică  $\frac{1}{88\ 850}$  inch, este grosimea lui la primul inel, ca mai sus.

Am încercat același lucru așezînd aceste lentile-obiectiv pe bucăți plane de oglindă spartă și am găsit aceleași măsuri ale inelelor, ceea ce mă face să le accept pînă ce vor putea fi determinate mai precis cu lentile modelate după sfere mai mari, deși la astfel de lentile se cere o mai mare grijă la suprafața plană.

Aceste dimensiuni au fost luate cînd ochiul meu era plasat aproape perpendicular deasupra sticlei, fiind la o distanță cam de un inch sau de un inch și un sfert de raza incidentă și la o distanță de opt inch de sticlă, astfel că razele erau înclinate față de sticlă cu un unghi de vreo patru grade. Din observațiile următoare veți înțelege că, dacă razele ar fi fost perpendiculare pe sticle, grosimea aerului la aceste inele ar fi fost mai mică în raportul razei către secanta de patru grade, adică de 10 000 la 10 024. Să micșorăm deci grosimile aflate în acest raport și ele vor deveni  $\frac{1}{88\ 952}$  și  $\frac{1}{89\ 063}$

sau (ca să utilizăm numărul rotund cel mai apropiat)  $\frac{1}{89\ 000}$  inch.

Aceasta este grosimea aerului în partea cea mai întunecoasă a primului inel negru, format de raze perpendiculare; jumătatea acestei grosimi înmulțită cu progresia 1, 3, 5, 7, 9, 11 etc. ne dă grosimea aerului la părțile cele mai luminoase ale inelelor mai strălucitoare, adică  $\frac{1}{178\ 000}$ ,  $\frac{3}{178\ 000}$ ,  $\frac{5}{178\ 000}$ ,  $\frac{7}{178\ 000}$  etc., mediile lor aritmetice  $\frac{2}{178\ 000}$ ,  $\frac{4}{178\ 000}$ ,  $\frac{6}{178\ 000}$  etc. fiind grosimea lor la părțile cele mai întunecoase ale tuturor inelelor întunecate.

*Observația 7.* Inelele erau minime cînd ochiul meu era plasat pe axa inelelor perpendicular pe lentile, iar cînd le priveam oblic



deveneau mai mari, crescînd într-una pe măsură ce-mi depărtam ochiul de axă. Măsurînd diametrul aceluiași cerc la diferite înclinații ale ochiului sau prin alte mijloace și folosind pentru înclinații foarte mari cele două prisme, am găsit că diametrul lui și, în consecință, grosimea aerului la perimetrul său pentru toate aceste înclinații este aproximativ în proporțiile exprimate în acest tabel.

Unghi de incidență în aer		Unghi de refracție în aer		Diametrul inelului	Grosimea aerului
Grade	Min.	Grade	Min.		
00	00	00	00	10	10
06	26	10	00	$10 \frac{1}{13}$	$10 \frac{2}{13}$
12	45	20	00	$10 \frac{1}{3}$	$10 \frac{2}{3}$
18	49	30	00	$10 \frac{3}{4}$	$11 \frac{1}{2}$
24	30	40	00	$11 \frac{2}{5}$	13
29	37	50	00	$12 \frac{1}{2}$	$15 \frac{1}{2}$
33	58	60	00	14	20
35	47	65	00	$15 \frac{1}{4}$	$23 \frac{1}{4}$
37	19	70	00	$16 \frac{4}{5}$	$28 \frac{1}{4}$
38	33	75	00	$19 \frac{1}{4}$	37
39	27	80	00	$22 \frac{6}{7}$	$52 \frac{1}{4}$
40	0	85	00	29	$84 \frac{1}{12}$
40	11	90	00	35	$122 \frac{1}{2}$

În primele două coloane sînt exprimate înclinațiile razelor incidente și emergente față de lamele de aer, adică unghiurile de incidență și de refracție. În coloana a treia, diametrul fiecărui inel colorat pentru aceste înclinații este exprimat în părți, din care zece reprezintă diametrul cînd razele sînt perpendiculare. În coloana a patra grosimea aerului inelului este exprimată în părți, din care zece reprezintă grosimea lui cînd razele sînt perpendiculare.

Din aceste măsurători am formulat următoarea regulă: grosimea aerului e proporțională cu secanta unui unghi al cărui sinus este o anumită medie proporțională între sinusurile de incidență și de refracție. Această medie proporțională, atît cît am putut s-o determin prin aceste măsurători, este prima dintr-o sută și șase medii aritmetice proporționale între aceste sinusuri calculate de la sinusul cel mai mare, adică de la sinusul de refracție atunci cînd refracția are loc din sticlă în stratul de aer sau de la sinusul de incidență cînd refracția se face din lamela de aer în sticlă.

*Observația 8.* Pata neagră din mijlocul inelelor de asemenea creștea cu înclinarea ochiului, deși aproape pe nesimțite. Dacă în loc de lentile obiectiv întrebuițam prisme, creșterea ei era mai pronunțată atunci cînd era privită atît de oblic încît nu apărea în jurul ei nici o culoare. Ea era minimă cînd razele cădeau mai oblic pe aerul interpus, iar cînd înclinația descreștea, ea creștea tot mai mult pînă ce apăreau inelele colorate și apoi descreștea din nou, însă nu atît de mult cît crescuse înainte. De aici este evident că transparența nu există numai la contactul perfect al sticlelor, ci și cînd între ele există un mic interval. Am observat uneori că diametrul petei se afla între jumătate și două cincimi ale diametrului circumferinței exterioare a roșului în primul circuit sau revoluție a culorilor cînd erau privite aproape perpendicular, în timp ce, dacă erau privite oblic, ea dispărea complet și devenea opacă și albă la fel cu celelalte părți ale sticlei, de unde se poate deduce că, atunci sticlele abia se atingeau sau nu se atingeau de loc și că intervalul lor la perimetrul acestei pete cînd era privită perpendicular era de aproximativ a cincea sau a șasea parte din intervalul lor la circumferința roșului menționat.

*Observația 9.* Privind prin cele două lentile-obiectiv în contact, am observat că aerul interpus prezenta inele colorate atît prin transmiterea luminii, cît și prin reflexia ei. Pata centrală era acum albă și ordinea culorilor de la ea era roșu-gălbui; negru, violet, albastru, alb, galben, roșu; violet, albastru, verde, galben, roșu etc. Dar aceste culori erau foarte slabe și diluate, în afară de cazul cînd



lele cauzate de aerul interpus în raportul în care sînt sinusurile care măsoară refracția produsă din acel mediu în aer.

*Observația 11.* Cînd era apă între lentile, dacă apăsam lentila de sus în diferite feluri pentru a face ca inelele să se miște cu ușurință dintr-un loc în altul, apărea imediat o pată mică albă în centrul lor, care la intrarea apei ambiante în acel loc îndată dispărea. Aspectul lor era același, prezentînd aceleași culori ca și cînd le-ar fi cauzat aerul interpus. Dar nu era aer, căci ele nu dispăreau dacă se aflau cîteva bule de aer în apă. Reflexia trebuie să fi fost cauzată de un mediu mai subtil\*, care putea să scape prin lentile la pătrunderea acolo a apei.

*Observația 12.* Aceste observații au fost făcute în aer liber. Pentru a examina însă mai departe efectele luminii colorate care cade pe lentile, am întunecat camera și le-am privit în reflexia culorilor pe care o prismă le proiecta pe o foaie de hîrtie albă, ochiul meu fiind astfel încît putem vedea hîrtia colorată prin reflexia în lentile ca printr-o oglindă. Prin acest mijloc, inelele deveneau mai distincte și mai vizibile într-un număr cu mult mai mare decît în aer liber. Uneori am văzut mai mult de douăzeci, în timp ce în aer liber nu putem deosebi mai mult de opt sau nouă.

*Observația 13.* Punînd un asistent să miște prisma într-o parte și în alta în jurul axei sale, astfel încît toate culorile să poată cădea succesiv pe partea hîrtiei pe care o vedeam prin reflexie de la lentilele din partea unde apăreau cercurile, astfel că toate culorile puteau fi reflectate succesiv de la cercuri în ochiul meu în timp ce îl țineam nemișcat, am constatat că cercurile pe care le producea lumina roșie sînt în mod evident mai mari decît cele cauzate de albastru și de violet. Era o adevărată plăcere să le văd dilatîndu-se sau contrac-tîndu-se după cum se schimbau culorile luminii. Intervalul dintre sticle la unele inele cînd acestea erau produse de culoarea roșie închisă era către intervalul la același inel cînd era cauzat de extremul violet mai mare decît  $3/2$  și mai mic decît  $13/8$ . La cele mai multe observații ale mele era ca  $14/9$ . Acest raport era aproximativ același la toate înclinațiile ochiului, cu excepția cazului cînd în loc de lentile-obiectiv foloseam două prisme. Atunci, la o anumită înclinație mare a ochiului, inelele formate de diversele culori păreau egale, iar la o înclinație mai mare cele produse de violet erau mai mari decît aceleași inele produse de roșu, refracția prisme în acest caz făcînd ca razele cele mai refrangibile să cadă mai oblic pe lamela de aer decît cele mai puțin refrangibile. În acest fel, experiența reușea în

---

\* Probabil materia subtilă a lui Descartes, sau eterul.

lumina colorată, care era suficient de intensă și abundentă ca să facă inelele perceptibile. De aici se poate deduce că, dacă razele cele mai refrangibile și cele mai puțin refrangibile ar fi fost de ajuns de abundente ca să facă inelele perceptibile fără amestecul altor raze, raportul, care aici era de  $14/9$ , ar fi fost ceva mai mare, să zicem  $14 \frac{1}{4}$  sau  $14 \frac{1}{3}$  la 9.

*Observația 14.* În timp ce prisma era învîrtită în jurul axei sale cu o mișcare uniformă pentru a face ca toate culorile diferite să cadă succesiv pe lentila obiectiv și deci să producă o contractare și dilatare a inelelor, contractarea și dilatarea fiecărui inel produs astfel de variația culorii sale erau mai rapidă în roșu și mai lentă în violet, iar în culorile intermediare avea grade intermediare de iuțeală. Comparînd contractarea și dilatarea la toate gradele fiecărei culori, am găsit că ea este maximă în roșu, mai mică în galben, și mai mică în albastru și minimă în violet. Pentru a estima cît se poate de just rapoartele contracțiilor și dilatărilor sale, am observat că întreaga contracție și dilatare a diametrului fiecărui inel, făcute în toate gradele roșului către diametrul aceluiași inel format la toate gradele violetului, erau cam de vreo patru la trei sau cinci la patru și, dacă lumina era de o culoare mijlocie intermediară între galben și verde, diametrul inelului era foarte apropiat de media aritmetică dintre diametrul maxim al aceluiași inel format de extremul roșu și diametrul minim al său produs de extremul violet, contrar cu ceea ce se întîmpla la culorile din spectrul lunguieț născut de refracția unei prisme, unde roșul este mai contractat, violetul mai extins și în mijlocul tuturor culorilor este limita dintre verde și albastru. De aici pot conchide că grosimile aerului dintre lentile acolo unde inelul este format succesiv la limitele celor cinci culori principale (roșu, galben, verde, albastru și violet) în ordine (adică la extremul roșu, la limita dintre roșu și galben în mijlocul portocaliului, la limita dintre galben și verde, la limita dintre verde și albastru, la limita dintre albastru și violet în mijlocul indigoului și în extremul violet) sînt una foarte aproape de alta, la fel cum cele șase lungimi ale coardei care într-o sextă majoră dau notele sol, la, mi, fa, sol, la. Dar aceasta concordă mai bine cu observația dacă spunem că grosimile aerului dintre sticle acolo unde inelele sînt formate succesiv la limitele celor șapte culori în ordinea roșu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo, violet sînt între ele precum rădăcinile cubice ale pătratelor celor opt lungimi ale unei coarde, care emite

tonurile unei octave : sol, la, fa, sol, la, mi, fa, sol, adică precum rădăcinile cubice ale pătratelor numerelor  $1, \frac{8}{9}, \frac{5}{6}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{9}{16}, \frac{1}{2}$ .

*Observația 15.* Aceste inele nu erau de culori variate, ca cele produse în aer liber, ci toate apăreau numai în culorile prismatice cu care erau luminate. Proiectînd culorile prismatice imediat pe

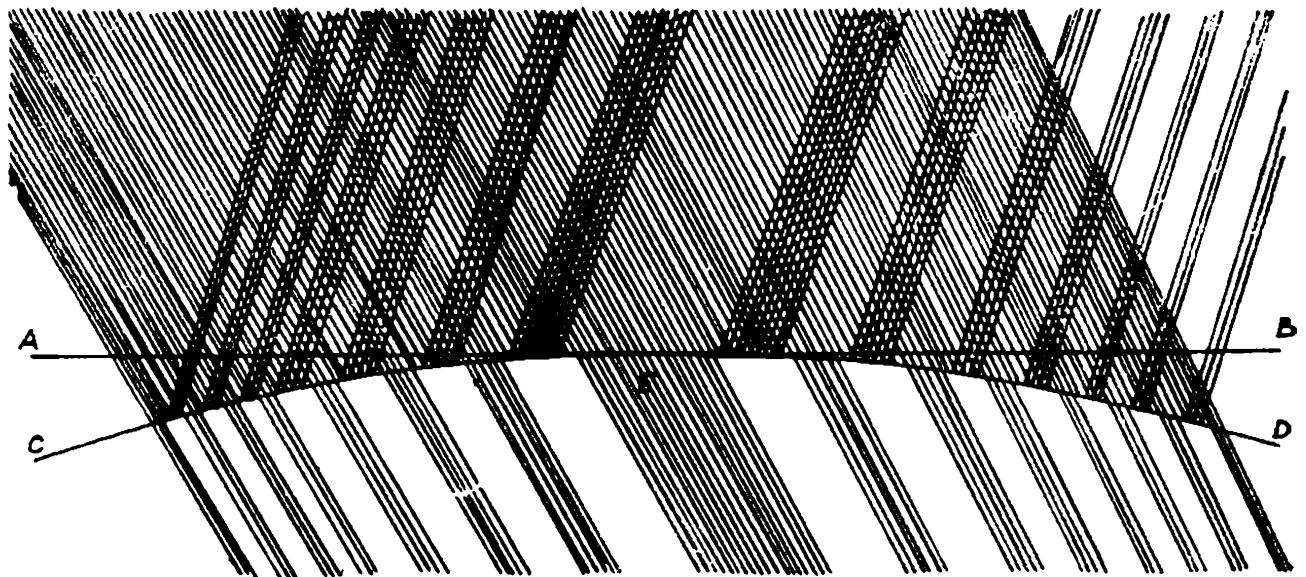


Fig. 4

lentile, am găsit că lumina care cădea în spațiile întunecoase ce se aflau între inele colorate era transmisă prin lentile fără nici o modificare a culorii. Căci pe o hîrtie albă așezată în spate se formau inele de aceeași culoare cu cele reflectate și de aceeași dimensiuni. De aici originea acestor inele este evidentă : aerul dintre sticle, potrivit grosimii sale diferite, este dispus în anumite locuri să reflecte, iar în altele să transmită lumina oricărei culori (după cum puteți vedea reprezentat în figura 4) și în același loc să reflecte lumina unei culori pe cînd a alteia s-o transmite.

*Observația 16.* Pătratele diametrelor acestor inele formate de oricare culoare prismatică erau în progresie aritmetică, ca în observația a cincea. Iar diametrul cercului al șaselea, cînd era format de un galben ca lămîia și privit aproape perpendicular, era de aproximativ  $\frac{58}{100}$  inch sau ceva mai mic, potrivit observației a șasea.

Observațiile precedente erau făcute cu un mediu mai rar, mărginit de unul mai dens, ca, de exemplu, aer sau apă, comprimat între

două sticle. În cele ce urmează sînt expuse aparențe'le într-un mediu mai dens înconjurat de unul mai rar, după cum sînt plăcile de mică, baloanele de săpun și alte substanțe subțiri, mărginite în toate părțile cu aer.

*Observația 17.* Suflăm un balon din apa făcută mai consistentă, dizolvînd în ea puțin săpun ; este o observație știută că după cîtva timp ea va apărea colorată cu o mare varietate de culori. Ca să ferim aceste baloane de agitația aerului exterior (prin care culorile se mișcă neregulat între ele, așa că nu se poate face nici o observație precisă a lor), îndată ce am suflat vreunul dintre ele l-am acoperit cu o sticlă transparentă și prin acest mijloc culorile sale apăreau în ordine foarte regulată, la fel ca tot atîtea inele concentrice înconjurînd vîrfurile balonului. Iar cînd pelicula devenea mai subțire în urma prelingerii continue a apei în jos, inelele se dilatau încet și acopereau tot balonul, coborînd pe rînd la partea lui inferioară, unde dispăreau succesiv. Între timp, după ce toate culorile au apărut la vîrf, în centrul inelelor creștea o pată rotundă neagră, asemănătoare cu cea din observația întâi, care se dilata încontinuu, pînă ce uneori diametrul ei devenea

de  $\frac{1}{2}$  sau  $\frac{3}{4}$  inch înainte ca balonul să se spargă. La început credeam

că în acel loc lumina nu se reflecta de la apă, dar, observînd-o mai cu atenție, am văzut în ea mai multe pete mai mici rotunde, care apăreau cu mult mai negre și mai întunecoase decît celelalte, de unde am recunoscut că erau unele reflexii în alte locuri care nu erau atît de întunecoase ca petele. Prin alte experiențe am găsit că pot vedea imaginile unor obiecte (ca a unei lumînări sau a Soarelui) foarte slab reflectate nu numai de la pata mare neagră, ci și de la petele mici întunecoase care erau în ea. În afară de inelele colorate amintite mai sus, adeseori apăreau pete mici colorate, ridicîndu-se și coborîndu-se pe marginile balonului din cauza inegalității de scurgere a apei. Iar cîteodată pete mici negre se ridicau pe margini pînă la pata neagră mai mare de la vîrfurile bulei și se uneau cu ea.

*Observația 18.* Deoarece culorile acestor baloane erau mai extinse și mai vii decît ale păturii înguste de aer dintre două sticle și astfel mai ușor de distins, vă voi mai da aici o descriere a ordinei lor cum se observau dacă erau privite în reflexia culorii albe a cerului, în timp ce o substanță neagră era plasată în spatele balonului. Ele erau : roșu, albastru ; roșu, albastru ; roșu, albastru ; roșu, verde ; roșu, galben, verde ; albastru, purpuriu ; roșu, galben, verde, albastru, violet ; roșu, galben, alb, albastru, negru.

Primele trei succesiuni de roșu și albastru erau foarte slabe și șterse, mai cu seamă întâia, în care roșul apărea ca un fel de alb. Printre acestea abia era vreo altă culoare sensibilă afară de roșu și de albastru; singur albastrul (și mai ales al doilea albastru) înclina puțin spre verde.

Roșul al patrulea de asemenea era diluat și șters, dar nu așa de mult ca primele trei; după el urma puțin galben sau de loc, apoi un verde bogat, care la început înclina puțin spre galben și apoi devenea un verde de culoarea salciei viu și clar, care apoi trecea într-o culoare albăstruie; acestora însă nu le succedau nici albastrul, nici violetul.

Roșul al cincelea la început înclina foarte mult spre purpuriu și apoi devenea mai luminos și mai viu nu însă foarte pur. Acestuia îi urma un galben foarte luminos și intens, care era în cantitate mică și trecea repede în verde; acest verde era abundant și câteodată mai pur, închis și viu decât verdele precedent. După acesta urma un albastru excelent, de culoarea strălucitoare a cerului, apoi un purpuriu, care era în cantitate mai mică decât albastrul și tindea mai mult spre roșu.

Roșul al șaselea la început era de un stacojiu foarte deschis și viu, ca să treacă apoi într-o nuanță mai luminoasă, devenind foarte curat și strălucitor, cel mai frumos dintre toate culorile roșii. Apoi, după un portocaliu viu urma un galben foarte strălucitor și abundant, care de asemenea era cel mai frumos dintre toate culorile galbene; acesta trecea mai întâi într-un galben-verzui și apoi într-un albastru-verzui; dar verdele dintre galben și albastru era foarte slab și diluat, semănând mai mult cu un alb-verzui decât cu un verde. Albastrul care urma devenea foarte frumos și de o culoare a cerului foarte luminoasă, totuși întru câțva inferioară albastrului precedent, iar violetul era intens și închis, neavînd în el roșu aproape de loc, mai puțin abundant decât albastrul.

În ultimul roșu apărea o colorație de stacojiu apropiat de violet, care repede trecea într-o culoare mai luminoasă, înclinînd spre un portocaliu; galbenul care urma era la început relativ frumos și viu, însă mai tîrziu devenea mai diluat, pînă ce în mod gradat se termina într-un alb perfect. Acest alb, dacă apa era foarte vîscoasă și potrivit amestecată, se împrăștia încet și se întindea pe cea mai mare parte a bulei, devenind din ce în ce mai pal în partea de sus, și, în fine, crăpa în mai multe locuri, iar acele crăpături, dilatîndu-se, apăreau de o culoare a cerului relativ frumoasă, dar totuși obscură și întunecoasă; albul dintre petele albastre, slăbind pînă ce semăna cu firele unei țesături neregulate, curînd după aceea dispărea și lăsa partea



de sus a bulei în culoarea albastru-închis menționată. Această culoare, în felul amintit mai sus, se dilata pînă ce uneori se împrăștia peste întreaga bulă. Între timp în partea de sus, care era de un albastru mai întunecos decît partea de jos, apăreau de asemenea cîteva pete albastre rotunde, cîteodată mai întunecoase decît restul; apoi ieșeau la iveală una sau mai multe pete foarte negre, și în interiorul lor alte pete și mai negre, pe care le-am menționat în observația precedentă; acestea se dilatau încontinuu pînă ce bula crăpa.

Dacă apa nu era destul de vîscoasă, petele negre deveneau albe fără să mai apară și albastrul. Uneori ele dispăreau în interiorul galbenului precedent sau al roșului ori, probabil, în mijlocul albastrului de al doilea ordin, înainte ca culorile intermediare să aibă timp să se dezvolte.

Din această descriere vă puteți da seama ce afinitate mare au aceste culori cu cele ale aerului descrise în observația a patra, deși sînt expuse în ordine contrară, din cauză că ele încep să apară cînd bula este mai consistentă și se numără mai convenabil de la partea cea mai de jos și mai groasă a bulei, în sus.

*Observația 19.* Privind în diferite poziții oblice ale ochiului inelele colorate ce ies din vîrfurile bulei, am găsit că ele se dilatau sensibil cu creșterea înclinației, dar totuși nici pe departe atît de mult ca cele formate de stratul de aer subțire din observația a șaptea. Într-adevăr, acolo ele se dilatau atît de mult, încît, dacă erau privite oblic, ajungeau la o parte a stratului care era mai mult de douăsprezece ori mai groasă decît aceea în care apăreau cînd erau privite perpendicular; în acest caz raportul dintre grosimea apei la care ajungeau cînd erau privite mai oblic și grosimea care le prezenta în raze perpendiculare era puțin mai mic decît  $8/5$ . După observațiile mele cele mai bune raportul era între 15 și  $15 \frac{1}{2}$  la 10, adică o creștere de vreo 24 de ori mai mică decît în primul caz.

Uneori bula devenea peste tot de o grosime uniformă, cu excepția porțiunii din apropierea petei negre, ceea ce se recunoaște din faptul că prezenta același aspect al culorilor în toate pozițiile ochiului. Atunci culorile ce se vedeau pe circumferința sa aparentă în razele cele mai oblice erau diferite de cele ce se vedeau în alte locuri, în raze mai puțin înclinate față de bulă. Diverși observatori pot vedea aceeași parte a ei în diferite culori, privind-o sub înclinații foarte diferite. Acum, observînd cît de mult variază culorile în aceleași locuri ale bulei sau în locuri diferite de aceeași grosime, cu înclinațiile diferite ale razelor, luînd în considerare observațiile 4, 14, 16 și 18,

după cum se va explica mai târziu, am dedus că grosimea apei necesare să prezinte una și aceeași culoare sub diverse înclinații, este aproximativ în proporția expusă în tabela de mai jos.

Incidența razelor pe apă		Refracția în apă		Grosimea apei
Grade	Min.	Grade	Min.	
00	00	00	00	10
15	00	11	11	10 $\frac{1}{4}$
30	00	22	1	10 $\frac{4}{5}$
45	00	32	2	11 $\frac{4}{5}$
60	00	40	30	13
75	00	46	25	14 $\frac{1}{2}$
90	00	48	35	15 $\frac{1}{5}$

În primele două coloane sînt exprimate înclinațiile razelor față de suprafața apei, adică unghiurile lor de incidență și de refracție. Eu presupun aici că sinusurile care le măsoară sînt în cifre rotunde ca  $3/4$ , cu toate că, probabil, dizolvarea săpunului în apă poate să-i modifice puțin puterea de refracție. În coloana a treia, grosimea balonului de săpun la care se produce o culoare oarecare la diverse înclinări se exprimă în părți, din care zece constituie grosimea ei cînd razele sînt perpendiculare. Regula dedusă din observația a șaptea, dacă este corect aplicată, concordă bine cu aceste măsurători, anume că grosimea unei lamele de apă necesară să producă una și aceeași culoare la diferite înclinări ale ochiului, este proporțională cu secanta unui unghi al cărui sinus este primul din 106 medii aritmetice proporționale între sinusurile de incidență și de refracție numărate de la sinusul cel mai mic, adică începînd cu sinusul de refracție cînd refracția se face din aer în apă și de la sinusul de incidență cînd refracția se face din apă în aer.

Am observat alteori că culorile care apar pe oțelul lustruit cînd se încălzește pe metalul de clopot sau pe alte substanțe metalice cînd sînt topite și turnate pe pămînt unde ele se pot răci în aer liber, la fel ca culorile baloanelor de săpun, se schimbau cîte puțin cînd le priveam sub diverse înclinații și în particular că un albastru-îchis sau violet, dacă era privit foarte oblic, se schimba într-un roșu-îchis. Dar variațiile acestor culori nu sînt atît de mari și de sensibile ca cele ce au loc la apă. Zgura sau partea vitrificată a metalului, pe care cele mai multe metale cînd sînt încălzite sau topite o împing încontinuu afară și o scot la suprafață, acoperind metalele sub formă de peliculă subțire sticloasă, conduce la apariția acestor culori, este mult mai densă decît apa ; am găsit că schimbarea culorii produsă de înclinarea ochiului este mai mică la păturile subțiri cu cît substanța este mai densă.

*Observația 20.* Aici, la fel ca la observația a noua, balonul de săpun apărea în lumina transmisă de o culoare contrară cu cea născută prin reflexie. Astfel, cînd bula, fiind privită în lumina norilor reflectată de ea, părea roșie la circumferința ei aparentă, dacă în același timp sau imediat după aceea norii erau priviți prin ea, culoarea de la circumferință devenea albastră. Dimpotrivă, dacă în lumina reflectată apărea albastră, în lumina transmisă ea apărea roșie.

*Observația 21.* Udînd plăci de mică foarte subțiri, care, fiind atît de subțiri, făceau să apară culori asemănătoare cu cele ale bulelor de apă, culorile deveneau mai slabe și mai mate, în special cînd umezeam plăcile pe partea opusă ochiului, dar nu am putut percepe nici o variație a aspectului lor. În acest fel, grosimea necesară unei plăci ca să producă o culoare oarecare depinde numai de densitatea plăcii și nu de cea a mediului ambiant. De aici, cu ajutorul observațiilor a 10-a și a 16-a, se poate cunoaște grosimea pe care o au la fiecare culoare produsă baloanele de săpun, plăcile de mică sau alte substanțe.

*Observația 22.* Un corp subțire transparent mai dens decît mediul ambiant prezintă culori mai luminoase și mai vii decît cel mai puțin dens, după cum am observat în particular la aer și la sticlă. Suflînd la flacăra unei lămpi plăci de sticlă foarte subțiri, acele plăci înconjurate de aer prezentau culori cu mult mai vii decît lamele subțiri de aer dintre două lentile.

*Observația 23.* Comparînd cantitatea de lumină reflectată de diferitele inele, am constatat că ea era mai mare la cel dintîi, adică la cel interior, iar la inelele exterioare devenea treptat din ce în ce mai mică. La fel și albul primului inel era mai intens decît cel reflectat de acele părți ale mediului sau ale lamelor subțiri care erau în



Fig. 5

afara inelelor, după cum am putut să observ clar privind de la distanță inelele produse de cele două lentile obiective, sau, comparînd două baloane de săpun suflate la anumite intervale de timp, la cea dintîi apărea albul în urma tuturor celorlalte culori, iar la a doua precedîndu-le pe toate celelalte.

*Observația 24.* Cînd cele două lentile obiectiv erau așezate una peste cealaltă în așa fel încît să facă să apară inelele colorate, deși cu ochiul liber nu am putut deosebi mai mult de opt sau nouă astfel de inele, totuși, privindu-le

printr-o prismă, am văzut o mulțime cu mult mai mare, astfel că am putut număra peste patruzeci, afară de multe altele, care erau atît de mici și de apropiate între ele, încît nu mi-am putut fixa constant ochiul asupra fiecăruia încît să le număr, dar, considerînd spațiul pe care-l ocupau, am apreciat a fi mai multe de o sută. Cred însă că experiența poate fi perfecționată pentru a descoperi un număr cu mult mai mare. Într-adevăr, ele par a fi în număr nelimitat, deși sînt vizibile numai atît cît pot fi separate prin refracția prisme, după cum voi explica în cele ce urmează.

Dar numai o latură a acestor inele devenea distinctă prin refracție, anume aceea spre care avea loc refracția, în timp ce cealaltă latură devenea mai neclară cînd era privită cu ochiul liber, atît de mult încît nu am putut deosebi mai mult de unul sau două, iar uneori nici unul dintre inelele din care puteam deosebi cu ochiul liber opt sau nouă. Segmentele sau arcele lor, care de cealaltă latură apăreau atît de numeroase, în cea mai mare parte nu depășeau o treime de cerc. Dacă refracția era foarte mare sau prisma era foarte departe de lentilele-obiectiv, partea de mijloc a acestor arce de asemenea devenea confuză, astfel că dispărea și forma un alb uniform, pe cînd la ambele laturi capetele lor și arcele întregi mai depărtate de centru deveneau mai distincte decît înainte, apărînd în forma pe care o vedeți desenată în figura 5.

Arcele, unde păreau mai distincte, erau numai succesiv albe și negre, fără amestecul vreunei alte culori. În alte locuri însă apăreau culori, a căror ordine era inversată prin refracție, în așa fel că, dacă mai întîi țineam prisma foarte aproape de lentilele-obiectiv și apoi treptat le depărtam spre ochi, culorile inelului al 2-lea, al 3-lea, al 4-lea și ale celor următoare se strîngeau spre albul care se ivea între ele pînă

ce dispăreau cu totul în el la mijlocul arcelor și apoi iarăși ieșeau în ordine contrară. Dar la capetele arcelor ele își păstrau ordinea neschimbată.

Uneori așezam lentilele-obiectiv în așa fel una peste alta, încît, privite cu ochiul liber, să apară pretutindeni la fel de albe, fără să se ivească vreun inel colorat; totuși, privindu-le printr-o prismă, am descoperit o mare mulțime de inele. La fel plăcile de mică și bulele de sticlă suflate la flacăra unei lămpi, care nu erau atît de subțiri încît să prezinte vreo culoare ochiului liber, privite printr-o prismă prezentau o mare varietate de culori, aranjate neregulat de sus în jos în formă de unde. De asemenea picăturile de apă, înainte de a începe să-și manifeste culorile ochiului liber al unui observator, apăreau prin prismă înconjurate de unele inele paralele și orizontale. Pentru a produce acest efect era necesar să se țină prismele paralel sau aproape paralel cu orizontul și să fie aranjate în așa fel ca razele să se poată refracta în sus.

# Cartea a doua

## a

# O P T I C I I

### PARTEA II

*Mențiuni asupra observațiilor precedente.*

După ce am prezentat observațiile mele asupra culorilor produse în peliculele subțiri transparente înainte de a studia cauzele culorilor corpurilor naturale, este convenabil să le explic pe cele mai complicate cu ajutorul celor mai simple dintre ele, cum ar fi observațiile 2, 3, 4, 9, 12, 18, 20 și 24.

În primul rând, pentru a arăta cum se produc culorile din observația a patra și a opta, să luăm pe o linie dreaptă din punctul  $Y$  (fig. 6) lungimile  $YA, YB, YC, YD, YE, YF, YG, YH$ , care se află între ele în aceeași proporție ca și rădăcinile cubice ale pătratelor numerelor  $\frac{1}{2}, \frac{9}{16}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{5}{6}, \frac{8}{9}, 1$ , care reprezintă lungimile pe care

trebuie să le aibă o coardă muzicală pentru a emite toate tonurile unei octave, adică în proporția numerelor 6300, 6814, 7114, 7631, 8255, 8855, 9243, 10000. Din punctele  $A, B, C, D, E, F, G, H$  să ridicăm perpendicularele  $A\alpha, B\beta$  etc., intervalele dintre ele reprezentând domeniile diferitelor culori, notate dedesubt în dreptul lor. Să împărțim apoi linia  $A$  în proporția arătată de numerele 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11 etc., puse în dreptul punctelor de diviziune. Prin aceste diviziuni să ducem din  $Y$  liniile  $1I, 2K, 3L, 5M, 6N, 7O$  etc.

Dacă acum presupunem că  $A2$  reprezintă grosimea unui corp oarecare subțire transparent, la care violetul extrem este reflectat mai mult în primul inel sau prima serie de culori, atunci, potrivit observației a 13-a,  $HK$  va reprezenta grosimea lui, la care roșul extrem este reflectat mai mult în aceeași serie. La fel, potrivit observației a 5-a și a 6-a,  $A6$  și  $HN$  vor reprezenta grosimile la care aceste culori extreme sînt reflectate mai mult în seria a doua, iar  $A10$  și  $HQ$  grosimea la care ele sînt reflectate mai abundent în seria a treia

și așa mai departe. Grosimea la care se reflectă mai mult vreuna dintre culorile intermediare va fi definită, potrivit observației a 14-a,

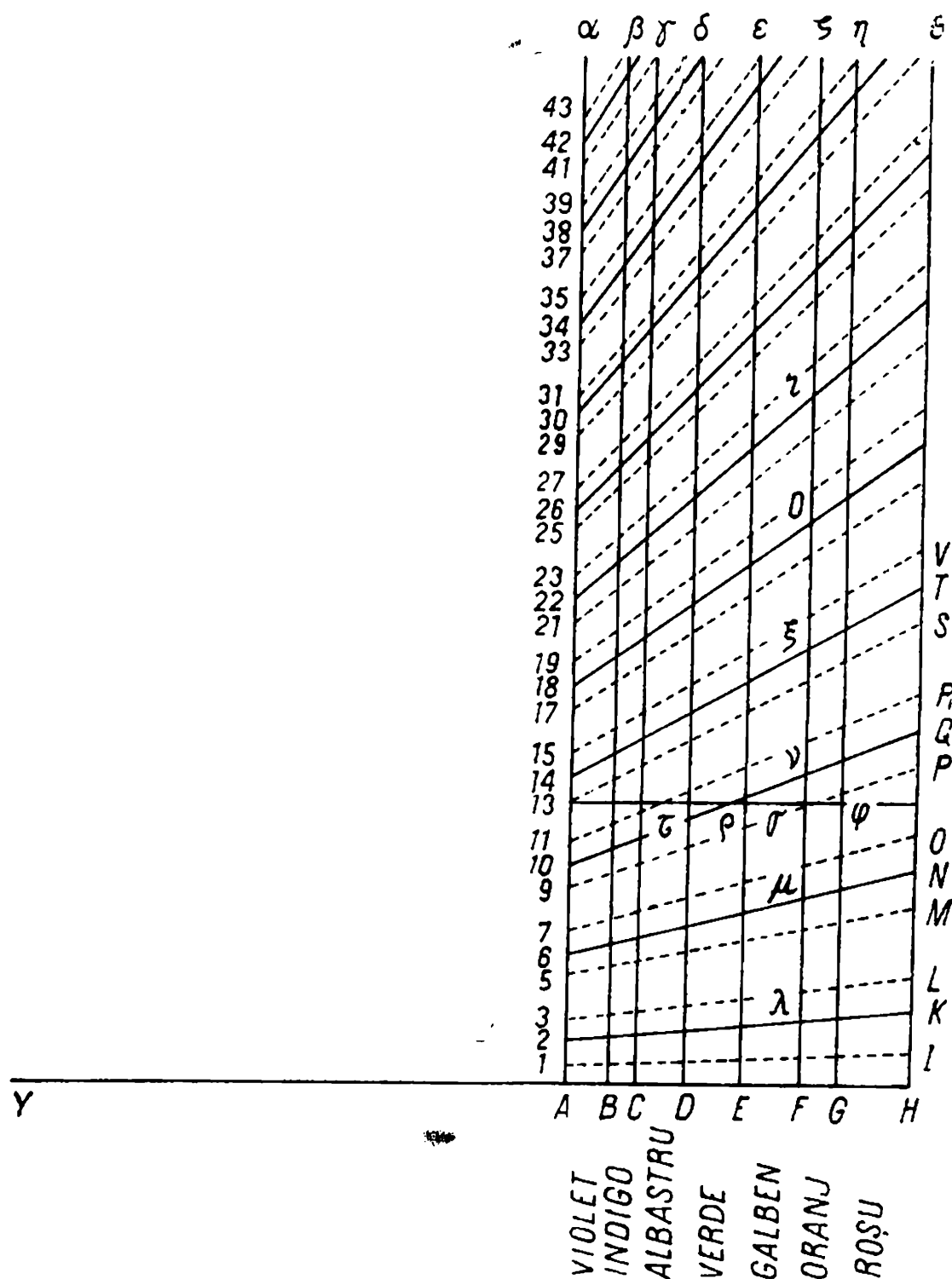


Fig. 6

prin distanța liniei  $AH$  față de părțile intermediare ale liniilor  $2K$ ,  $6N$ ,  $10Q$  etc. sub care sînt scrise numele acelor culori.

Dar, mai departe, pentru a defini lăţimea acestor culori în fiecare inel al seriei, fie  $A1$  grosimea cea mai mică, iar  $A3$  cea mai mare la care se reflectă violetul extrem în prima serie şi fie  $HI$  şi  $HL$  aceleaşi limite pentru roşul extrem, iar culorile intermediare fie limitate de părţile intermediare ale liniilor  $1I$  şi  $3L$ , în dreptul cărora sînt scrise numele acelor culori, şi aşa mai departe, dar întotdeauna reflexiile trebuie să fie presupuse mai intense în spaţiile intermediare  $2K, 6N, 10Q$  etc. şi de acolo descresc treptat spre limitele  $1I, 3L, 5M, 7O$  etc. de ambele părţi, unde nu trebuie să le considerăm că sînt precis limitate, ci că se micşorează nedefinit. Am atribuit aceeaşi lăţime fiecărei serii, pentru că, deşi aceste culori par a fi în prima serie puţin mai largi decît restul din cauză că acolo reflexia e mai intensă, totuşi această inegalitate este atît de sensibilă, încît cu greu se poate determina prin observaţie.

Potrivit acestei descrieri, imaginîndu-ne că razele care la început sînt de mai multe culori se reflectă alternativ în spaţiile  $1I, L3, 5M, O7, 9P, R11$  etc. şi se transmit în spaţiile  $AHI1, 3LM5, 7OP9$  etc., este uşor de văzut care culoare trebuie să apară în aer liber la fiecare grosime a unui corp transparent subţire. Într-adevăr, dacă aşezăm o riglă paralel cu  $AH$ , în aşa fel încît distanţa riglei de  $AM$  să reprezinte grosimea corpului transparent, spaţiile alternative  $1IL3, 5MO7$  etc. pe care le taie vor determina culorile reflectate la început, din care e compusă culoarea ce apare în aer liber. Astfel, dacă dorim să cunoaştem spaţiul verdelui, care trebuie să apară în seria a 3-a de culori, aşezăm rigla după cum se vede în  $\pi\rho\sigma\varphi$  şi din trecerea ei prin albastru în  $\pi$  şi galben în  $\sigma$ , ca şi prin verde în  $\rho$ , putem conchide că verdele care apare la acea grosime a corpului e constituit îndeosebi din verdele original, dar există şi un amestec de puţin albastru şi galben.

Prin acest mijloc veţi putea cunoaşte cum se succedă culorile de la centrul inelelor în afară în ordinea în care au fost descrise în observaţiile a 4-a şi a 18-a. Căci dacă mişcaţi rigla treptat de la  $AH$  prin toate distanţele, trecînd prin primul spaţiu care indică o reflexie foarte mică sau nulă la substanţele cele mai subţiri, ea va ajunge mai întîi în 1 la violet, apoi foarte repede la albastru şi verde, care împreună cu acest violet compun albastrul, şi apoi la galben şi roşu, prin adaosul cărora acest albastru se transformă în alb, care alb se continuă în timpul trecerii marginii riglei de la  $I$  la 3 şi după aceea prin absenţa succesivă a uneia din culorile componente, să se schimbe la început într-un galben compus, apoi în roşu şi pe urmă roşul dispăre în  $L$ . Atunci încep culorile celui de-al 2-lea inel



care succedă pe rînd în timpul trecerii marginii riglei de la 5 la 0 și sînt mai vii decît înainte, din cauză că sînt mai extinse și mai separate. Din același motiv, în locul albului de mai înainte aici se interpune între albastru și galben un amestec de portocaliu, galben, verde, albastru și indigo, care toate împreună trebuie să dea un verde diluat și imperfect. Astfel se succedă pe rînd toate culorile inelului al treilea; mai întîi violetul, care se amestecă puțin cu roșul de ordinul al doilea și de aceea înclină spre un purpuriu-roșiat, apoi albastrul și verdele, care sînt mai puțin amestecate cu celelalte culori și, în consecință, mai vii decît înainte, în special verdele, apoi urmează galbenul, din care partea dinspre verde este distinctă și clară, dar partea lui dinspre roșul care urmează, și la fel acel roșu, este amestecată cu violetul și cu albastrul inelului al patrulea prin care se compun diverse grade de roșu ce înclină foarte mult spre purpuriu. Acestui violet și albastru care trebuie să urmeze după roșu, fiind amestecate cu el și contopite în el, le urmează un verde. La început acesta înclină mult spre albastru, însă în curînd devine un verde bun, singura culoare neamestecată și vie în seria a patra. Căci îndată ce tinde spre galben începe să se amestece cu culorile inelului al cincilea, prin care amestec galbenul și roșul ce urmează sînt foarte mult diluate și impure, în special galbenul, care, fiind culoarea cea mai slabă, abia se poate observa. După aceasta diversele inele și culorile lor se amestecă și se confundă tot mai mult, pînă ce, după alte trei sau patru schimbări succesive (în care predomină pe rînd roșul și albastrul), toate felurile de culori se găsesc peste tot la fel amestecate și de diluate, compunînd un alb uniform.

Decarece, potrivit observației a 15-a, razele unei culori sînt transmise acolo unde cele de o altă culoare sînt reflectate este evidentă originea culorilor produse de lumina transmisă, descrisă în observațiile a 9-a și a 20-a.

Dacă nu dorim numai ordinea și felul acestor culori, ci și grosimea precisă a plăcii sau a corpului subțire la care se ivesc, exprimate în fracțiuni de inch, aceasta de asemenea se poate obține cu ajutorul observațiilor a 6-a și a 16-a. Într-adevăr, potrivit acestor două observații, grosimea aerului păturii subțiri de aer care prezenta între cele două sticle părțile cele mai luminoase ale primelor șase inele era de  $1/178000$ ,  $3/178000$ ,  $5/178000$ ,  $7/178000$ ,  $9/178000$ ,  $11/178000$  inch. Să presupunem că lumina reflectată mai mult la aceste grosimi este galbenul de lămie intens sau limita dintre galben și portocaliu, și această grosime va fi  $F\lambda$ ,  $F\mu$ ,  $F\nu$ ,  $F\xi$ ,  $F\theta$ ,  $F\tau$ . Aceasta

fiind cunoscută, este ușor de determinat ce grosime a aerului este reprezentată prin  $G\phi$  sau prin orice altă distanță a riglei de la  $AH$ .

Dar, mai departe, fiindcă, potrivit observației a 10-a, grosimea păturii de aer era față de a celei de apă, care între aceleași sticle prezenta aceeași culoare, în raportul  $4/3$ , iar potrivit observației a 21-a culorile corpurilor subțiri nu variază cu variația mediului ambiant, grosimea unei picături de apă de o culoare oarecare va fi  $\frac{3}{4}$  din grosimea aerului care produce aceeași culoare. De asemenea,

potrivit observațiilor a 10-a și a 21-a, grosimea unei plăci de sticlă, a cărei refracție a razei mijlocii se măsoară prin raportul sinusurilor  $31/20$ , poate fi  $20/31$  din grosimea aerului care produce aceleași culori și la fel despre celelalte medii. Eu nu afirm că acest raport de  $20/31$  este valabil pentru toate razele, deoarece sinusurile celorlalte feluri de raze au alte rapoarte. Diferențele acelor rapoarte sînt însă așa de mici, încît aici nu le iau în considerare. Pe aceste baze am compus tabela următoare, în care grosimea aerului, apei și sticlei la care fiecare culoare este mai intensă și specifică este exprimată în fracțiuni de inch divizat într-un milion de părți egale.

Grosimea plăcilor colorate și a particulelor de

		aer	apă	sticlă
Culorile lor de ordinul întii	negru complet	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{31}$
	negru	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$
	început de negru	2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{7}$
	albastru	$2\frac{2}{5}$	$1\frac{4}{5}$	$1\frac{11}{20}$
	alb	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{5}$
	galben	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{3}{5}$
	portocaliu	8	6	$5\frac{1}{6}$
	roșu	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{4}{5}$

		aer	apă	sticlă
De ordinul al doilea	violet	$11 \frac{1}{6}$	$8 \frac{3}{8}$	$7 \frac{1}{5}$
	indigo	$12 \frac{5}{6}$	$9 \frac{5}{8}$	$8 \frac{2}{11}$
	albastru	14	$10 \frac{1}{2}$	9
	verde	$15 \frac{1}{8}$	$11 \frac{2}{3}$	$9 \frac{5}{7}$
	galben	$16 \frac{2}{7}$	$12 \frac{1}{5}$	$10 \frac{2}{5}$
	portocaliu	$17 \frac{2}{9}$	13	$11 \frac{1}{9}$
	roșu strălucitor	$18 \frac{1}{3}$	$13 \frac{3}{4}$	$11 \frac{5}{6}$
	stacojiu	$19 \frac{2}{3}$	$14 \frac{3}{4}$	$12 \frac{2}{3}$

De ordinul al treilea	purpuriu	21	$15 \frac{3}{4}$	$13 \frac{11}{20}$
	indigo	$22 \frac{1}{10}$	$16 \frac{4}{7}$	$14 \frac{1}{4}$
	albastru	$23 \frac{2}{5}$	$17 \frac{11}{20}$	$15 \frac{1}{10}$
	verde	$25 \frac{1}{5}$	$18 \frac{9}{10}$	$16 \frac{1}{4}$
	galben	$27 \frac{1}{7}$	$20 \frac{1}{3}$	$17 \frac{1}{2}$
	roșu	29	$21 \frac{3}{4}$	$18 \frac{5}{7}$
	roșu-albăstrui	32	24	$20 \frac{2}{3}$

		aer	apă	sticlă
De ordinul al patrulea	verde-albăstrui	34	$25 \frac{1}{2}$	22
	verde	$25 \frac{2}{7}$	$26 \frac{1}{2}$	$22 \frac{3}{4}$
	verde-gălbui	36	27	$23 \frac{2}{9}$
	roșu	$40 \frac{1}{3}$	$30 \frac{1}{4}$	26
De ordinul al cincilea	albastru-verzui	46	$34 \frac{1}{2}$	$29 \frac{2}{3}$
	roșu	$52 \frac{1}{2}$	$39 \frac{3}{8}$	34
De ordinul al șaselea	albastru-verzui	$58 \frac{3}{4}$	44	38
	roșu	65	$48 \frac{3}{4}$	42
De ordinul al șaptelea	albastru-verzui	71	$53 \frac{1}{4}$	$45 \frac{4}{5}$
	alb roșiatic	77	$57 \frac{3}{4}$	$49 \frac{2}{3}$

Dacă comparați această tabelă cu figura 6, veți vedea constituția fiecărei culori, ca și ingredientele lor, sau culorile originare din care e compusă, și de acolo veți putea să judecați asupra intensității sau imperfecțiunii ei, ceea ce poate fi suficient pentru explicarea observațiilor a 4-a și a 18-a, dacă nu dorim să aflăm și felul în care apar culorile când așezăm cele două lentile obiective una peste cealaltă. Pentru a face aceasta, să descriem un arc mare de cerc și o linie dreaptă care să atingă acel arc, iar paralel cu tangenta mai multe linii punctate, la astfel de distanțe de ea, cum arată numerele în dreptul diverselor culori din tabelă. Într-adevăr, arcu și tangenta lui vor reprezenta suprafețele sticlelor care delimitează

aerul interpus, iar locurile în care liniile punctate taie arcu vor indica la ce distanță de centru sau de punctul de contact este reflectată fiecare culoare.

Mai sînt și alte întrebări ale acestei tabeli, căci cu ajutorul ei în observația a 19-a s-a determinat grosimea balonului de săpun din culorile pe care le prezintă. La fel se poate aprecia din culorile corpurilor naturale care este grosimea particulelor lor, după cum se va arăta în cele ce urmează. De asemenea, dacă punem una peste alta două sau mai multe plăci foarte subțiri astfel ca să constituie o singură placă de grosime egală cu toate împreună, atunci cu ajutorul acestei tabeli se poate determina culoarea rezultantă. *D. Hooke* a observat, după cum a menționat în *Micrografia* sa, că o placă de mică de culoare galben-pal așezată peste una albastră dădea un purpuriu foarte închis. Galbenul de ordinul întâi este slab, iar grosimea plăcii care îl reprezintă, potrivit tabelii, este de  $4\frac{3}{5}$ , la care se adaugă 9, grosimea care reprezintă albastrul de ordinul al doilea, și suma va fi  $13\frac{3}{5}$  care este grosimea ce reprezintă purpuriul de ordinul al treilea.

Pentru a explica în același timp împrejurările observațiilor a 2-a și a 3-a, adică în ce fel se pot schimba culorile (prin învîrtirea prismelor în jurul axei lor comune în sens contrar celui spus în acele observații) în inele albe și negre și apoi iarăși în inele colorate, culorile fiecărui inel fiind acum așezate în ordine inversă, trebuie să ne reamintim că inelele colorate sînt dilatate din cauza înclinației razelor față de aerul interpus între sticle și că, potrivit tabelului din observația a 7-a, dilatația sau creșterea diametrului lor este mai evidentă și mai rapidă cînd ele sînt mai oblice. Acum, razele galbene fiind mai refractate la prima suprafață a aerului amintit decît cele roșii, se înclină și mai mult la suprafața a doua, la care se reflectă ca să producă inelele colorate, și, în consecință, cercul galben din fiecare inel va fi mai dilatat decît cel roșu; dilatarea sa va fi cu atît mai mare, cu cît e mai mare înclinația razelor, pînă ce, în fine, ea devine egală în întindere cu roșul aceluiași inel. Din același motiv, verdele, albastrul și violetul vor fi și ele atît de mult dilatate în urma înclinației și mai mari a razelor lor, încît și acestea devin foarte aproape de aceeași întindere ca și roșul, adică egal depărtate de centrul inelelor. Atunci toate culorile aceluiași inel trebuie să se suprapună și prin amestecul lor să dea un inel alb. Aceste inele albe trebuie să cuprindă între ele inele negre și albe, fiindcă ele nu se împrăstie și nu interferă unul

cu altul ca mai înainte. Din acest motiv, ele trebuie să devină mai distincte și mai vizibile în număr mai mare. Totuși, violetul fiind mai întunecat, va fi mai dilatat în raport cu întinderea sa decît celelalte culori și astfel foarte probabil să apară la marginile exterioare ale albului.

După aceea, la o înclinare mai mare a razelor, violetul și albastrul devin simțitor mai dilatați decît roșul și galbenul, și astfel, fiind mai depărtate de centrul inelelor, culorile trebuie să apară din alb în ordine inversă celei de mai înainte: violetul și albastrul la marginea exterioară a fiecărui inel, iar roșul și galbenul la cea interioară. Violetul, din cauza înclinării mai mari a razelor sale, fiind în raport cu celelalte cel mai extins, va apărea primul la marginea exterioară a fiecărui inel alb și va deveni mai evident decît restul. Iar diversele serii de culori aparținînd diferitelor inele vor începe, din cauza desfășurării și împrăstierii, să interfereze din nou și deci să facă inelele mai puțin distincte și vizibile în număr mai mic.

Dacă în loc de prismă folosim lentile-obiectiv, inelele pe care le prezintă nu devin albe și distincte la înclinarea ochiului, deoarece razele în trecerea lor prin aerul ce se găsește între lentile sînt aproape paralele cu liniile după care cădeau mai întîi pe lentile și, în consecință, diferitele culori nu sînt înclinate una mai mult decît alta față de acel aer, așa cum se petrece în prismă.

Mai există încă un fapt în aceste experiențe care trebuie luat în considerare, și anume de ce inelele negre și albe care, privite de la distanță, apar distincte nu devin numai neclare cînd le privim din apropiere, ci prezintă și o culoare violetă la ambele margini ale fiecărui inel alb. Cauza este că razele care intră în ochi în diferitele părți ale pupilei au diferite înclinații față de lentile; cele care sînt mai oblice, dacă sînt considerate separat, vor înfățișa inelele mai mari decît cele mai puțin oblice. De aceea lățimea perimetrului fiecărui inel se extinde în afară pentru razele mai oblice și în interior pentru cele mai puțin oblice. Această întindere este cu atît mai mare, cu cît e mai mare diferența înclinației, adică cu cît e mai largă pupila sau cu cît ochiul e mai aproape de lentilă. Lățimea violetului trebuie să fie extinsă, fiindcă razele capabile să excite senzația acelei culori sînt mai oblice față de o a doua suprafață sau cele următoare ale păturii înguste de aer la care se reflectă și de asemenea posedă cea mai mare variație a înclinării, ceea ce face ca aceste culori să apară mai vizibil la marginile albului. Pe măsură ce lățimea fiecărui inel crește în acest fel, intervalele negre trebuie să se micșoreze pînă ce inelele vecine devin continue și se amestecă, mai întîi cele

exterioare și apoi cele mai apropiate de centru, astfel încât nu se pot distinge separat, ci par a constitui un alb egal și uniform.

Din toate aceste observații, nici una nu este însoțită de atâtea circumstanțe ciudate ca a 24-a. Dintre ele cea mai importantă este că în plăcile subțiri care apar ochiului liber ca un alb transparent regulat și uniform, fără nici o terminație de umbră, refracția prin prismă face să apară inele colorate, pe când de obicei ea face obiectele să apară colorate numai acolo unde se termină cu umbră sau posedă părți inegal luminate, și ea face inelele extrem de distincte și albe, deși de obicei arată obiectele confuze și colorate. Veți înțelege cauza acestor lucruri considerând că toate inelele colorate există realmente în placă când le privim cu ochiul liber, cu toate că, din cauza mării lățimi a circumferințelor lor, ele trebuie să interfereze atât de mult și să se amestece, încât par să constituie un alb uniform. Când însă razele trec prin prismă la ochi, cercurile diverselor culori din fiecare inel se refractă, unele mai mult decât altele, potrivit gradelor lor de refrangibilitate. Prin aceste mijloace, culorile uneia dintre marginile inelului (adică în cerc într-o anumită parte față de central său) devin mai dezvoltate și mai dilatate, iar cele de la cealaltă margine mai complicate și mai contractate. Acolo unde, datorită unei refracții potrivite, sînt atât de contractate încât diversele inele devin prea înguste ca să mai poată interfera unul cu celălalt, ele trebuie să apară distincte și albe dacă culorile componente sînt atât de contractate încât coincid cu totul. Dar de cealaltă parte, unde cercul fiecărui inel devine mai lat în urma dezvoltării în continuare a culorilor sale, inelul trebuie să interfereze mai mult cu celelalte inele decât anterior și astfel devine mai puțin distinct.

Pentru a explica aceasta mai bine să presupunem că cercurile concentrice  $AV$  și  $BX$  (fig. 7) reprezintă roșul și violetul de un ordin oarecare și, împreună cu culorile intermediare, constituie unul dintre aceste inele. Privindu-le acum printr-o prismă, cercul

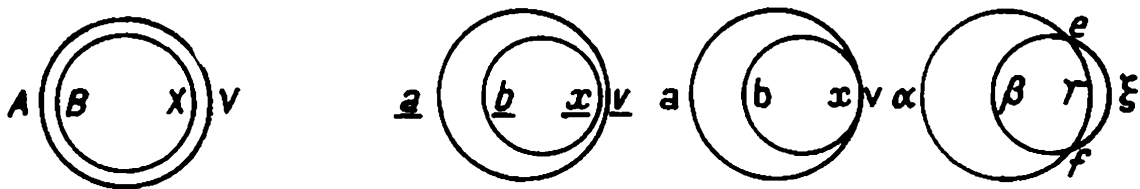


Fig. 7

violet  $BX$  în urma unei refracții mai mari se va deplasa din locul său mai mult decât cercul roșu  $AV$  și astfel se va apropia de el ultimul cerc de acea parte a cercurilor spre care se produce refracția.

De exemplu, dacă roșul se deplasează spre  $av$ , violetul se poate deplasa spre  $bx$ , astfel încât  $x$  se apropie mai mult de roșu decât anterior, iar dacă roșul se deplasează mai departe spre  $av$ , violetul se poate deplasa atât de mult spre  $bx$  încât să coincidă în  $x$ ; dacă roșul se deplasează mai mult spre  $\alpha Y$ , violetul se va deplasa și el atât de mult spre  $\beta \xi$  încât va trece dincolo de roșu în  $\xi$  și se întretaie cu el în  $e$  și  $f$ . Înțelegând aceasta nu numai despre roșu și violet, ci și despre toate celelalte culori intermediare și la fel despre orice schimbare a acelor culori, vă veți da ușor seama în ce chip culorile aceleiași serii, prin apropierea lor una de alta  $xv$  și  $Y\xi$ , și coincidența lor în  $xv$ ,  $e$  și  $f$  trebuie să formeze arce de cerc distincte, în special în  $xv$ , iar în  $xv$  să prezinte un alb prin suprapunerea lor, și iarăși să apară separate în  $Y\xi$ , dar în ordine contrară celei de mai înainte și pe care o rețin dincolo de  $e$  și  $f$ . Dar de cealaltă parte în  $ab$ ,  $ab$  sau  $\alpha\beta$ , aceste culori trebuie să apară cu mult mai neclar, fiind dilatate și împrăștiate astfel ca să se interfereze cu culorile altor inele. Aceeași amestecare a culorilor va avea loc în  $Y\xi$  între  $e$  și  $f$  dacă refracția este foarte mare sau prisma e foarte departe de lentila-obiectiv. În acest caz nu se vede nici o parte a inelelor, cu excepția numai a două arce mici la  $e$  și  $f$ , a căror distanță unul de celălalt va crește, deplasând prisma și mai departe de lentila-obiectiv. Aceste arce mici trebuie să fie mai distincte și mai albe în mijlocul lor, iar la capete, unde încep să devină confuze, ele trebuie să fie colorate. Culorile de la un capăt al fiecărui arc trebuie să fie în ordine inversă celor de la celălalt capăt, din cauza că se încrucișează în albul intermediar, anume capătul lor care tinde spre  $Y\xi$  va fi roșu și galben de partea apropiată de centru, iar de cealaltă parte albastru și violet. Celelalte capete ale lor care sînt aproape de  $Y\xi$  vor fi, dimpotrivă, albastre și violete de partea dinspre centru, iar roșii și galbene de cealaltă parte.

După cum toate aceste lucruri rezultă din proprietățile luminii printr-un raționament matematic, tot astfel adevărul lor se poate demonstra prin experiențe. Într-adevăr, privind într-o cameră întunecată aceste inele printr-o prismă în reflexia diferitelor culori, pe care un asistent le face să se miște în sus și în jos pe un perete sau pe o hîrtie de la care sînt reflectate, în timp ce ochiul spectatorului, prisma și lentilele obiective rămîn nemișcate (ca în observația a 13-a), pozițiile cercurilor produse succesiv de diversele culori vor fi în raport unul față de altul așa după cum am descris în figurile  $abxv$  sau  $abxv$  sau



αβξΥ. Prin aceeași metodă se poate examina adevărul explicațiilor celorlalte observații.

Din cele spuse pot fi înțelese fenomenele asemănătoare la apă și la plăcile subțiri de sticlă. Dar la bucățile mici ale acelor plăci se mai poate observa că, dacă ele sînt așezate orizontal pe o masă și se rotesc în jurul centrului lor în timp ce sînt privite printr-o prismă în anumite poziții ele vor prezenta unde de diferite culori, unele dintre ele vor prezenta aceste unde numai într-o poziție sau două, însă cele mai multe le vor prezenta în toate pozițiile și ele vor apărea în cea mai mare parte aproape pe întreaga placă. Cauza este că suprafețele acestor plăci nu sînt netede, ci posedă unele adîncituri și umflături care, oricît ar fi de mici, fac să varieze puțin grosimea plăcii. Într-adevăr, la diversele margini ale acelor adîncituri, din cauzele descrise mai sus, ele vor produce unde în diferitele poziții ale prisme. Deși este posibil ca numai unele porțiuni foarte mici și înguste de sticlă să producă în cea mai mare parte aceste unde, totuși ele par a se extinde pe întreaga sticlă, fiindcă există culori de diferite ordine, adică ale diferitelor inele, reflectate confuz de către cele mai înguste din aceste părți, care prin refracția în prismă sînt desfășurate separate și dispersate în diverse părți după gradul lor de refracție, astfel încît constituie tot atîtea unde diferite cîte ordine diverse de culori erau reflectate amestecat de acea parte a sticlei.

Acestea sînt fenomenele principale ale plăcilor subțiri sau ale baloanelor de săpun ale căror explicații depind de proprietățile luminii pe care le-am expus mai sus. Aceste fenomene, după cum vedeți, rezultă în mod necesar din proprietățile luminii și sînt în acord cu ele, pînă în cele mai mici detalii, și nu numai atît, dar și contribuie foarte mult la verificarea lor. Astfel din observația a 24-a apare că razele diferitelor culori produse atît de plăcile subțiri sau de bule, cît și de refracția printr-o prismă au diferite grade de refrangibilitate, din care cauză acele raze ale fiecărui ordin care la reflexia pe placă sau bulă se amestecă cu cele ale altui ordin, se separă de acestea prin refracție și se asociază în așa fel că devin vizibile ca niște arcuri de cerc. Căci, dacă razele ar fi toate la fel de refrangibile, ar fi imposibil ca albul, care, privit cu ochiul liber, apare uniform, să-și deplaseze prin refracție părțile și să le aranjeze în formă de arce negre și albe.

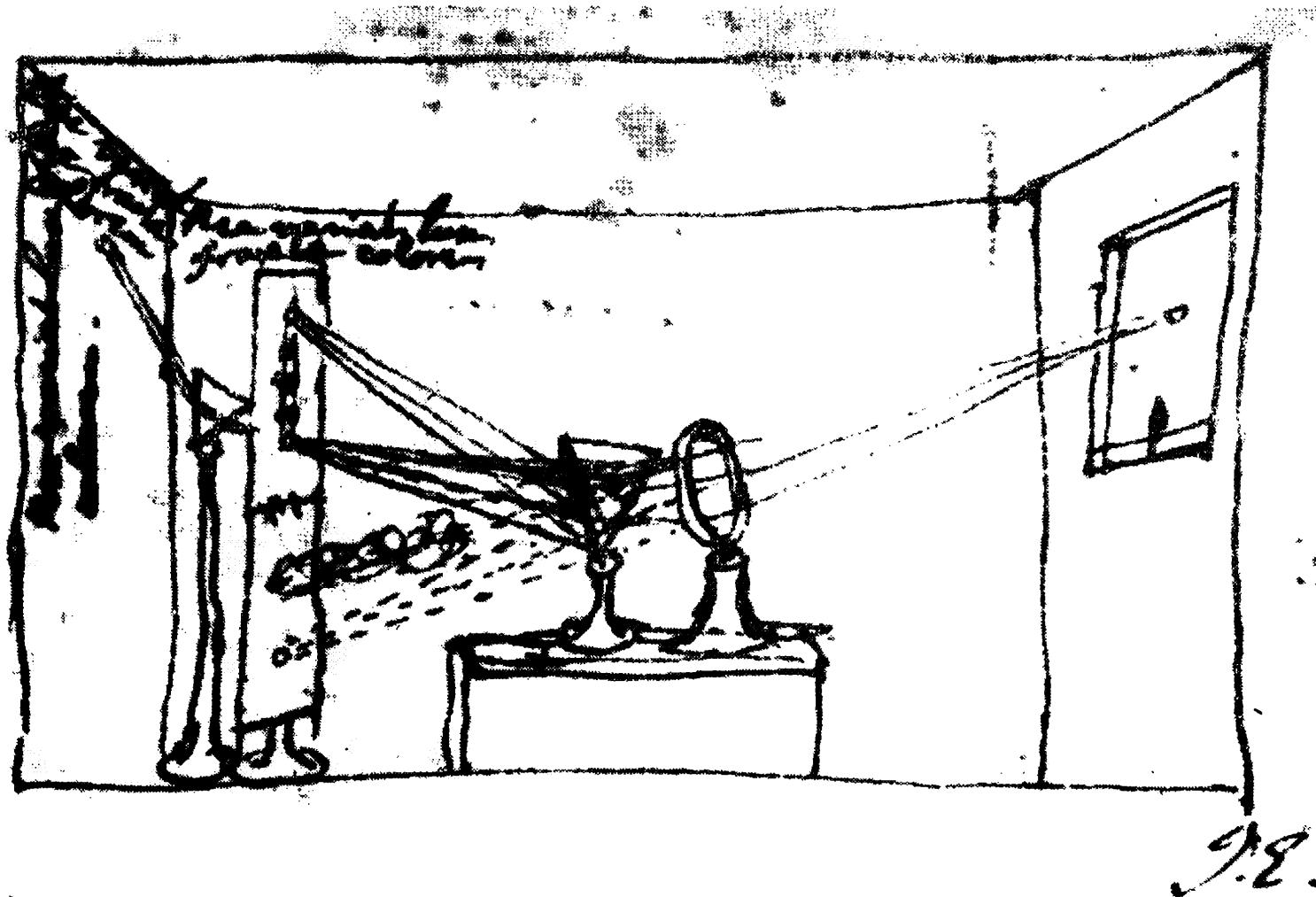
De asemenea este evident că refracțiile inegale ale razelor deformate nu provin din anumite neregularități accidentale, cum sînt

vinele, șlefuirea neregulată sau pozițiile fortuite ale porilor sticlei, mișcările inegale sau întâmplătoare ale aerului sau eterului, împrăștierea, refracția sau diviziunea aceleiași raze în mai multe părți divergente sau altele asemănătoare. Într-adevăr, dacă am admite anumite neregularități de acest fel, totuși ar fi imposibil ca refracțiile să facă ca acele inele să apară atât de distinct și bine definite ca în observația a 24-a. Prin urmare, este necesar ca fiecare rază să aibă propriul și constantul ei grad natural de refrangibilitate, potrivit căruia refracția ei se face exact și regulat și diferitele raze au grade de refracție diferite.

Ceea ce s-a spus despre refrangibilitatea razelor se poate înțelege și despre reflexibilitate, adică despre proprietatea lor de a fi reflectate, unele la o grosime mai mare, altele la una mai mică a plăcilor subțiri și a bulelor, anume că acestea sînt de asemenea proprietăți naturale ale razelor și sînt imuabile, după cum se poate vedea din observațiile a 13-a, a 14-a și a 15-a comparate cu a 4-a și a 18-a.

Din observațiile precedente mai urmează că albul este un amestec neomogen al tuturor culorilor și că lumina e un amestec de raze avînd toate acele culori. Într-adevăr, considerînd mulțimea inelelor colorate în observațiile a 3-a, a 12-a și a 24-a, este evident că, deși în observațiile a 4-a și a 18-a nu apar mai mult de opt sau de nouă astfel de inele, totuși în realitate sînt în număr cu mult mai mare, care interferă și se amestecă atât de mult între ele, încît, după acele opt sau nouă schimbări, se diluează reciproc complet și formează un alb regulat și uniform. În consecință, trebuie să admitem că albul este un amestec de toate culorile și că lumina care îl transmite ochiului trebuie să fie un amestec de raze care au toate acele culori.

Dar, mai departe, din observația a 24-a rezultă că există o relație constantă între culori și refrangibilitate, razele cele mai refrangibile fiind violet, cele mai puțin refrangibile roșii, iar cele de culori intermediare avînd, respectiv, grade intermediare de refrangibilitate. Din observațiile a 13-a, a 14-a și a 15-a apare că există aceeași relație constantă între culoare și reflexibilitate, violetul fiind în aceleași condiții reflectat la grosimile cele mai mici ale oricărei plăci sau bule, roșul la grosimile cele mai mari, iar culorile intermediare la grosimile intermediare. De aici rezultă că proprietățile de culoare ale razelor sînt de asemenea naturale și neschimbătoare și, în conse-



Planșa V. Schița făcută de Newton a unei experiențe asupra luminii și culorilor.

cință, toate producerile și aparițiile de culori provin nu din vreo modificare fizică cauzată în lumină de către refracție sau reflexie, ci numai din amestecurile sau din separările variate ale razelor în virtutea diferitelor lor refrangibilități și reflexibilități. În această privință, știința culorilor devine o speculație tot atît de matematică ca orice altă parte a opticii. Înțeleg aceasta în măsura în care ele depind de natura luminii și nu sînt produse sau alterate de puterea imaginației ori de lovirea sau apăsarea ochiului.

# Cartea a doua a OPTICII

## PARTEA III

*Culorile permanente ale corpurilor naturale și analogia dintre ele ; culorile plăcilor subțiri transparente.*

Am ajuns acum la o altă parte a acestei lucrări, care constă în a cerceta în ce relație sînt fenomenele plăcilor subțiri transparente față de ale celorlalte corpuri naturale.

După cum am spus, corpurile naturale apar în diverse culori, după capacitatea lor de a reflecta mai mult acele raze care inițial au culorile respective. Rămîne însă să se descopere constituția lor prin care ele reflectă anumite raze mai mult decît altele ; acest lucru voi încerca să-l prezint în propozițiile următoare.

### PROPOZIȚIA I

*Suprafețele corpurilor transparente care reflectă cea mai mare cantitate de lumină au cea mai mare putere refractatoare ; acestea sînt suprafețele care se găsesc între medii ce diferă cel mai mult în densitățile lor refractatoare. La marginile mediilor de refracție egală nu există reflexie.*

Analogia dintre reflexie și refracție apare clar atunci cînd considerăm faptul că lumina care trece oblic dintr-un mediu în altul care o refractă față de perpendiculară, cu cît va fi mai mare diferența dintre densitatea lor refractatoare, cu atît va avea nevoie de o înclinare mai mică de incidență pentru a cauza o reflexie totală. Într-adevăr, așa cum se raportează sinusurile care măsoară refracția, la fel se raportează sinusul de incidență la care începe reflexia totală către

raza cercului și, în consecință, unghiul de incidență cel mai mic este acela pentru care diferența sinusurilor este maximă. Astfel, la trecerea luminii din apă în aer, pentru care refracția se caracterizează

prin raportul  $\frac{3}{4}$  al sinusurilor, reflexia totală începe atunci când un-

ghiul de incidență este aproximativ 48 grade și 35 minute. La trecerea din sticlă în aer, unde refracția se caracterizează prin raportul  $\frac{20}{31}$  al sinusurilor, reflexia totală începe la un unghi de incidență

de 40 grade și 10 minute, iar la trecerea din cristal sau din medii mai puternic refractatoare în aer se cere o înclinare mai mică pentru a obține o reflexie totală. Prin urmare, suprafețele care refractă mai mult trebuie să reflecte cel mai repede lumina ce cade pe ele și de aceea trebuie considerate ca mai intens reflectatoare.

Adevărul acestei propoziții va apărea mai departe observînd că la suprafețele care despart două medii transparente (ca aerul, apa, uleiul, sticla ordinară, cristalul, sticlele metalice, sticlele de Islanda, arsenicul alb transparent, diamantul etc.) reflexia este mai intensă sau mai slabă după cum suprafețele au o putere de refracție mai mare sau mai mică. Căci la hotarul dintre aer și sarea gemă refracția este mai intensă decît la hotarul dintre aer și apă, este și mai intensă la suprafața de separație dintre aer și sticla obișnuită sau cristal și încă mai intensă la suprafața despărțitoare dintre aer și diamant. Dacă vreunul dintre aceste solide transparente sau altele asemănătoare se cufundă în apă, reflexia lor devine cu mult mai slabă decît înainte și încă și mai slabă dacă sînt cufundate în lichide mai refractatoare, cum ar fi uleiul de vitriol bine rafinat sau spirtul de terebentină. Dacă separăm apa în două părți printr-o suprafață imaginară, reflexia la limita dintre aceste două părți e absolut nulă. La hotarul dintre apă și gheață ea este foarte mică, la cel dintre apă și ulei este ceva mai mare, la cel dintre apă și sarea gemă este și mai mare, iar la cel dintre apă și sticlă sau cristal ori alte substanțe mai dense este încă și mai mare, după cum acele medii diferă mai mult sau mai puțin în ceea ce privește puterile lor de refracție. De aceea la suprafața comună dintre sticlă și cristal trebuie să existe o reflexie slabă, însă o reflexie mai intensă la hotarul dintre sticla obișnuită și sticlele care conțin metal, cu toate că nu am verificat lucrul acesta. La hotarul dintre două sticle de densitate egală însă nu există nici o reflexie sensibilă, după cum s-a văzut în prima observație. Același lucru se referă și la suprafețele care despart două cristale sau două lichide sau orice alte substanțe

În care nu se întâmplă nici o refracție. Astfel cauza pentru care mediile uniform transparente (ca apa, sticla sau cristalul) nu au reflexie sensibilă decât la suprafețele lor externe, unde sînt în contact cu alte medii de densitate diferită, este că toate părțile lor alăturate posedă unul și același grad de densitate.

## PROPOZIȚIA II

*Părțile cele mai mici ale aproape tuturor corpurilor naturale sînt într-o anumită măsură transparente, capacitatea acelor corpuri provenind din mulțimea reflexiilor care au loc în părțile lor interne.*

Au observat și alții că este așa și de asemenea sînt de acord și cei care lucrează cu microscopul. Aceasta se poate verifica așezînd o substanță în fața unui orificiu prin care pătrunde lumina într-o cameră întunecată. Într-adevăr, oricît de opacă poate apărea acea substanță în aer liber, prin acest mijloc apare în mod evident transparentă dacă e destul de subțire. Trebuie exceptate numai corpurile albe metalice, care din cauza densității lor excesive par să reflecte toată lumina incidentă pe prima lor suprafață, însă prin dizolvarea lor în dizolvanți ele se reduc la particule foarte mici și atunci devin transparente.

## PROPOZIȚIA III

*Între părțile corpurilor opace și colorate există numeroase spații, fie goale, fie umplute cu medii de alte densități, cum ar fi apa între corpusculi coloranți cu care e impregnat orice lichid sau aerul între globulele de apă care constituie norii sau ceața, și în cea mai mare parte spații golite atît de aer, cît și de apă între părțile corpurilor dure, dar totuși probabil nu complet golite de orice substanță.*

Adevărul acestora e dovedit de cele două propoziții precedente ; căci, potrivit propoziției a 2-a, există numeroase reflexii care au loc în părțile interioare ale corpurilor și care, potrivit primei propoziții, nu s-ar întâmpla dacă părțile acelor corpuri ar fi continue fără nici un interstițiu între ele, fiindcă reflexia se face numai la suprafețele care separă medii de densitate diferită, conform propoziției I.

Dar, mai departe, că această discontinuitate a părților este cauza principală a opacității corpurilor va apărea dacă considerăm că substanțele opace devin transparente, umplînd porii lor cu vreo substanță de densitate egală sau aproape egală cu a părților sale.

Astfel hîrtia înmuiată în apă sau ulei, piatra *oculus mundi*\* cufundată în apă, stofa de lînă cu ulei sau lăcuită și multe alte substanțe muiate în lichide, care pătrund intim în micii lor pori, devin prin aceasta mai transparente decît înainte; dimpotrivă, substanțele cele mai transparente, prin evacuarea lichidului din pori sau prin separarea părților lor, pot fi făcute destul de opace, ca de exemplu, sărurile și hîrtia umedă sau piatra *oculus mundi* prin uscare, cornul prin răzuire, sticla pulverizată sau deteriorată înalt chip, terebentina prin agitare cu apă pînă ce se amestecă imperfect și apa prin reducere la numeroase picături foarte mici, fie singură în formă de spumă, fie scuturînd-o cu ulei de terebentină sau cu ulei de măsline ori cu vreun alt lichid potrivit cu care nu se poate amesteca perfect. La creșterea opacității acestor corpuri contribuie uneori faptul că, potrivit observației a 23-a, reflexiile substanțelor foarte subțiri transparente sînt considerabil mai intense decît cele produse de aceleași substanțe la o grosime mai mare.

#### PROPOZIȚIA IV

*Părțile corpurilor și interstițiile lor nu trebuie să fie mai mici decît o anumită mărime bine definită pentru a le face opace și colorate.*

Într-adevăr dacă corpurile cele mai opace sînt divizate pînă la extrem (cum sînt metalele dizolvate în dizolvanți acizi etc.) ele devin perfect transparente. La fel vă puteți reamintici în observația a 8-anu era nici o reflexie sensibilă la suprafețele lentilelor-obiectiv cînd acestea erau foarte apropiate una de cealaltă, deși ele nu se atingeau. Iar în observația a 17-a reflexia bulei de apă, cînd devenea foarte subțire, era aproape inobservabilă, astfel încît făcea să apară pete foarte negre la vîrfurile bulei în lipsa luminii reflectate.

Bazîndu-mă pe acest lucru, îmi dau seama că apa, sarea, sticla, pietrele și alte substanțe asemănătoare sînt transparente. Căci după diverse considerații se pare că ele sînt la fel de pline de pori sau de interstiții între părțile lor ca și alte corpuri, totuși părțile și interstițiile lor sînt prea mici pentru a cauza reflexii la suprafețele lor comune.

---

\* *Hidrofan* — o varietate de opal ( $\text{SiO}_2$ ).



## PROPOZIȚIA V

*Părțile transparente ale corpurilor, potrivit mărimilor lor diferite, reflectă razele de o culoare și le transmit pe cele de altă culoare din același motiv pentru care plăcile subțiri sau bulele reflectă sau transmit aceste raze. Aceasta o consider eu că este cauza tuturor culorilor lor.*

Într-adevăr, dacă o placă subțire a unui corp are aceeași grosime peste tot, apare peste tot de culoare uniformă; dacă este despicată în fire sau sfărâmată în bucăți de aceeași grosime cu placa, nu văd nici un motiv pentru care fiecare fir sau bucățică nu și-ar menține culoarea și, în consecință, pentru ce o îngrămădire de acele fire și bucățele nu ar constitui o masă sau pulbere de aceeași culoare pe care o prezintă placa înainte de a fi fost fărâmițată. Iar particulele tuturor corpurilor naturale fiind tot atâtea fragmente ale unei plăci, trebuie din același motiv să prezinte aceleași culori.

Că este într-adevăr așa apare din asemănarea între proprietățile (optice) ale corpurilor colorate și păturilor subțiri. Culorile splendide ale penelor unor păsări, și în special ale cozii de păun, par de diferite culori pe aceeași parte a penei pentru diverse poziții ale ochiului, exact în același fel în care s-a arătat la plăcile subțiri în observațiile a 7-a și a 19-a, și deci culorile lor apar din cauza grosimii foarte mici a părților transparente ale penelor, adică de la finețea firelor foarte subțiri sau *capillamenta*\*, care cresc din ramurile laterale mai groase ale acelor pene. Aceeași este cauza pentru care pânzele foarte subțiri ale unor păianjeni apar colorate, după cum au observat unii, și pentru care firele unor mătăsuri, la variația poziției ochiului, își variază culoarea. La fel culoarea mătăsii, stofelor și altor substanțe care pot fi îmbibate cu apă și ulei, dacă sînt muiate în aceste lichide, devine mai slabă și mai întunecoasă și își recapătă din nou vioiciunea dacă se usucă; explicația este aceeași ca și cea dată pentru corpurile subțiri în observația a 10-a și a 21-a. Foile de aur, anumite feluri de sticlă, tinctura de *lignum nephriticum* și alte substanțe reflectă o culoare și transmit alta, în același fel ca și corpurile subțiri din observațiile a 9-a și a 20-a. Unele prafuri colorate pe care le folosesc pictorii pot să-și schimbe puțin culoarea dacă sînt măcinate mult și foarte fin. De aceea nu văd cum s-ar putea explica corect acele schimbări, în afară de fărâmițarea părților lor în particule mai mici prin această măcinare, în același fel în care se schimbă culoarea unei plăci subțiri prin variația grosimii.

---

\* Fibre, filamente.

Acesta este și motivul pentru care florile colorate ale plantelor și vegetalelor devin prin măcinare de obicei mai transparente decât înainte sau cel puțin își schimbă culoarea într-un grad oarecare. Nu mai puțin conform cu concepția mea este și faptul că, dacă amestecăm diverse lichide, se pot efectua produceri și schimbări de culori foarte ciudate și remarcabile, care nu pot avea o cauză mai naturală și mai rațională decât că corpusculii salini ai unui lichid acționează în mod variat asupra corpusculilor coloranți ai altora sau se unesc cu ele, astfel că le umflă sau le contractă (și deci nu numai volumul, ci și densitatea lor se poate schimba), ori le divide în corpuscule mai mici (prin care un lichid colorat poate deveni transparent) sau se întâmplă ca unele dintre ele să se asocieze într-o singură masă, în așa fel încât două lichide transparente pot compune unul colorat. Într-adevăr, se vede prin experiență cât de potriviți sînt acești dizolvanți salini să pătrundă și să dizolve substanțele la care se aplică, astfel ca unele dintre ele să precipite ceea ce altele dizolvă. În mod analog, dacă considerăm variatele fenomene ale atmosferei, putem observa că, atunci cînd se ridică vaporii mai întîi, ei nu împiedică transparența aerului, fiind divizați în părți prea mici pentru a cauza vreo reflexie la suprafețele lor. Cînd însă pentru a compune picăturile de ploaie ei încep să se unească și să formeze globule de toate mărimile posibile, acele globule, cînd ajung la o mărime suficientă pentru a reflecta anumite culori și a transmite altele, pot alcătui nori de diverse culori potrivit mărimii lor. Nu văd ce se poate concepe mai rațional într-o astfel de substanță transparentă cum este apa pentru producerea acelor culori decât mărimile diferite ale particulelor ei fluide și globulare.

#### PROPOZIȚIA VI

*Părțile corpurilor de care depind culorile lor sînt mai dense decât mediul care există în interstițiile lor.*

Aceasta va fi evident considerînd că culoarea unui corp depinde nu numai de razele care cad perpendicular pe părțile sale, ci și de acele care sînt incidente sub orice alte unghiuri. Apoi, potrivit observației a 7-a, o variație foarte mică a înclinației va schimba culoarea reflectată acolo unde corpul subțire sau micile particule sînt mai rare decât mediul ambiant, pînă într-atîta încît o astfel de particulă mică va reflecta la incidențe oblice diferite toate felurile de culori

într-o varietate atît de mare, încît culoarea care rezultă din toate razele reflectate confuz de o îngrămădire de astfel de particule va fi mai curînd albă sau gri decît orice altă culoare sau, în cazul cel mai bun, o culoare nedefinită și foarte ștearsă. Dimpotrivă, dacă corpul subțire sau mica particulă este cu mult mai densă decît mediul ambiant, culorile, potrivit observației a 19-a, se schimbă atît de puțin prin variația înclinației, încît razele reflectate mai puțin oblic trebuie să predominie asupra restului, astfel încît face ca o mulțime de astfel de particule să apară foarte intens colorate.

La confirmarea acestei propoziții mai contribuie faptul că, potrivit observației a 22-a, culoarea prezentată de corpul subțire mai dens din interiorul celui rar este mai vie decît cea prezentată de cel mai rar în interiorul celui mai dens.

#### PROPOZIȚIA VII

*Mărimea părților componente ale corpurilor naturale poate fi dedusă din culorile lor.*

Într-adevăr, părțile acestor corpuri, potrivit propoziției a 5-a, prezintă foarte probabil aceleași culori ca o placă de o anumită grosime și, admițînd că au aceeași densitate reflectatoare, părțile lor par să aibă aproape aceeași densitate ca apa sau sticla, ceea ce se poate deduce în mod natural din mai multe fapte. Pentru a determina mărimea acelor părți, n-aveți decît să recurgeți la tabelele precedente, în care sînt expuse grosimile straturilor de apă sau ale sticlei care prezintă anumite culori. Astfel, dacă dorim să cunoaștem diametrul unui corpuscul, care, avînd o densitate egală cu a sticlei, va reflecta un verde de ordinul al treilea, numărul  $16 \frac{1}{4}$  arată că el este de

$$\frac{16 \frac{1}{4}}{10000} \text{ inch.}$$

Dificultatea cea mai mare constă în a cunoaște de ce ordin este culoarea unui corp. În acest scop trebuie să recurgem la observațiile a 4-a și a 18-a, din care se pot deduce următoarele concluzii.

*Stacojiul* și celelalte culori, *roșu*, *portocaliu* și *galben*, dacă sînt pure și intense, sînt foarte probabil de ordinul al doilea. Cele de ordinul întîi și al treilea de asemenea pot fi foarte bune, numai galbenul

de ordinul întâi e slab, iar portocaliul și roșul, de ordinul al treilea, au un mare amestec de violet și albastru.

Pot exista și culori *verzi* frumoase de ordinul al patrulea, dar cel mai pur este verdele de ordinul al treilea. De acest ordin pare a fi verdele tuturor vegetalelor, pe de o parte din cauza intensității culorilor sale și, pe de altă parte, din cauză că, dacă se veștejesc, unele dintre ele devin galben-verzui, pe cînd altele tind spre un galben sau portocaliu mai perfect sau poate spre un roșu, trecînd mai întâi prin toate culorile intermediare menționate mai sus. Aceste schimbări par a fi produse de evaporarea sevei pe care o conțin, din care cauză corpusculii coloranți devin mai denși și chiar puțin mai mari prin adăugarea părții uleioase sau pămînt oase a acestei seve. Fără îndoială că verdele este de același ordin cu culorile în care se transformă, din cauză că schimbarea este treptată și acele culori care în mod obișnuit nu sînt foarte pline totuși adesea sînt prea pure și vii pentru a fi de ordinul al patrulea.

*Albastrul* sau *purpuriul* pot fi ambele de ordinul al doilea sau al treilea însă cele mai bune sînt de ordinul al treilea. Astfel culoarea viorelelor pare a fi de acest ultim ordin, deoarece siropul lor în lichide acide devine roșu, iar în cele urinoase și alcaline devine verde. Într-adevăr, fiindcă natura acizilor este să dizolve sau să dilueze, iar a soluțiilor alcaline să precipite sau să îngroașe, dacă culoarea purpurie a siropului era de ordinul al doilea, un lichid acid prin diluarea corpusculilor coloranți o va schimba într-un roșu de ordinul întâi, pe cînd unul alcalin, îngroșîndu-l, îl va transforma într-un verde de ordinul al doilea ; roșul și verdele, în special verdele, par prea nedefinite pentru a fi culori produse prin aceste schimbări. Dacă însă presupunem că purpuriul amintit este de ordinul al treilea, transformarea sa în roșu de ordinul al doilea și verde de al treilea poate fi admisă fără nici un un inconvenient.

Dacă s-ar găsi vreun corp de un purpuriu mai închis și mai puțin roșiatic decît cel al viorelelor, culoarea lui ar fi foarte probabil de ordinul al doilea. Totuși, pentru că în general nu se cunoaște nici un corp a cărui culoare să fie în mod constant mai închisă decît a acelora, m-am folosit de numele lor pentru a denumi culorile purpurii mai închise și mai puțin roșietice, care în mod evident întrec în puritate culoarea lor.

Chiar și *albastrul* de ordinul întâi, deși foarte slab și neînsemnat, poate fi totuși, culoarea unor substanțe în particular culoarea azurie a cerului pare să fie de acest ordin. Într-adevăr, toți vaporii, cînd

încep să se condenseze și să se adune în particule mici, capătă mai întâi mărimea la care un astfel de azuriu trebuie să se reflecte înainte ca ei să formeze ori de alte culori. Astfel această primă culoare pe care vaporii încep s-o reflecte trebuie să fie culoarea celui mai clar și mai transparent cer, în care vaporii nu au ajuns la mărimea cerută pentru a reflecta alte culori, după cum constatăm prin experiență.

*Albul*, dacă este foarte intens și luminos este cel de ordinul întâi; dacă este mai puțin intens și luminos, este un amestec de culori de diferite ordine. De acest ultim fel este albul spumei, al hîrtiei, al pînzei și al celor mai multe substanțe albe; consider că metalele albe sînt de primul fel. Căci chiar metalul cel mai dens, aurul, dacă este tras în foițe foarte subțiri, transparent și toate metalele devin transparente dacă sînt dizolvate în solvenți sau sînt vitrificate, în timp ce opacitatea metalelor albe nu provine numai din densitatea lor. Acestea, fiind mai puțin dense decît aurul, ar trebui să fie mai transparente decît el dacă alături de densitate nu ar exista și alte cauze ca să le facă opace. Consider că altă cauză este faptul că particulele lor au exact mărimea necesară ca să reflecte albul de ordinul întâi. Într-adevăr, dacă sînt de altă mărime, aceste particule pot să reflecte alte culori, după cum se observă la culorile care apar pe oțelul incandescent cînd e călit, iar uneori pe suprafața metalelor topite în crusta sau zgura ce ia naștere la răcirea lor. După cum albul de ordinul întâi e cel mai intens ce se poate ivi la plăcile substanțelor transparente, la fel trebuie să fie mai intens în substanțele mai dense ale metalelor decît în cele mai rare ale aerului, apei și sticlei. Nu văd nimic care să împiedice ca substanțele metalice cu o grosime ce le poate face să reflecte albul de ordinul întâi să poată reflecta, datorită mării lor densități (în sensul propoziției I), toată lumina incidentă pe ele și astfel să fie mai opace și mai sclipitoare decît orice alt corp. Aurul sau cuprul, topite împreună cu o cantitate de argint egală cu mai puțin de jumătate din greutatea lor sau staniu ori antimoniu sau amalgamate cu puțin mercur, devin albe, ceea ce arată că particulele de metal alb au suprafețe cu mult mai mari și astfel sînt cu mult mai mici decît cele de aur sau de cupru și de asemenea că ele sînt atît de opace, încît nu lasă ca particulele de aur și de argint să lucească între ele. Cu greu ne putem îndoi că culorile aurului și ale cuprului sînt de ordinul al doilea și al treilea și deci particulele metalelor albe nu pot fi cu mult mai mari decît se cere pentru a le face să reflecte albul de ordinul întâi. Volatilitatea mercurului arată că ele nu sînt cu mult mai mari și nici nu pot fi cu mult mai mici, altfel și-ar pierde opacitatea și ar deveni fie transparente, cum se

întîmplă cînd sînt diluate prin vitrificare sau prin dizolvare în solvenți, fie negre, ca atunci cînd sînt măcinate mărunt, frecînd argintul sau staniul ori plumbul pe alte substanțe pentru a le utiliza la trasarea liniilor negre. Prima și singura culoare pe care o iau metalele albe cînd particulele lor sînt măcinate mai mărunt este cea neagră și, prin urmare, albul lor trebuie să fie acela care înconjură pata neagră din centrul inelelor colorate, adică un alb de ordinul întîi. Dacă însă doriți să deduceți de aici mărimea particulelor metalice, trebuie să țineți seama de densitatea lor. Căci, dacă mercurul ar fi transparent, densitatea lui are o astfel de valoare, încît (după calculul meu) sinusul de incidență ar trebui să fie față de sinusul de refracție în raportul  $71/20$ , sau  $7/2$ . Așadar, pentru ca particulele sale să poată prezenta aceleași culori ca bulele de săpun, ar trebui să fie mai mici decît grosimea lamei acestor bule în raportul  $2/7$ . De aceea e posibil ca particulele de mercur să fie tot atît de mici ca particulele unor fluide transparente și volatile și cu toate acestea să reflecte albul de ordinul întîi.

În fine, pentru producerea *negrului*, corpusculii trebuie să fie mai mici decît oricare dintre cei care prezintă culori. Căci toate particulele mai mari reflectă prea multă lumină pentru a forma această culoare. Dacă însă presupunem că ei sînt ceva mai mici decît se cere pentru a reflecta albul și albastrul cele mai slabe de ordinul întîi, ei vor reflecta, potrivit observațiilor a 4-a, a 8-a, a 17-a și a 18-a, atît de puțină lumină, încît apar intens negri; totuși o pot reflecta diferit într-o parte și în alta în interiorul lor, pînă cînd e pierdută și stinsă, în urma căreia acești corpusculi vor apărea negri fără nici o transparență în toate pozițiile ochiului. De aici se poate înțelege de ce focul și putrezirea care distruge și mai profund, divizînd particulele substanțelor, le înnegrește și de ce cantități mici de substanțe negre își comunică culoarea atît de ușor și intens altor substanțe cu care ajung în contact; particulele minuscule ale substanțelor negre, din cauza numărului lor mare, acoperă ușor particulele mari ale celorlalte substanțe; de ce sticla frecată cu foarte mare grijă cu nisip pe o placă de cupru pînă ce e bine șlefuită face ca nisipul împreună cu ceea ce se rade din sticlă și cupru să devină foarte negru, de ce substanțele negre se încălzesc mai repede decît altele la lumina solară și se aprind (efect care poate proveni parte din mulțimea refracțiilor într-un spațiu mic și parte din agitația ușoară a corpusculilor foarte mici) și de ce corpurile negre de obicei bat puțin o culoare albăstruie. Despre aceasta ne putem convinge luminînd o hîrtie albă cu lumină reflectată de substanțe negre. Într-adevăr, hîrtia va apărea de

obicei într-o culoare albă-albăstruie ; cauza este că negrul mărginește albastrul întunecat de primul ordin, descris în observația a 18-a, și deci reflectă mai multe raze ale acestei culori decât ale altora.

În aceste descrieri am fost ceva mai detaliat, din cauză că nu e imposibil ca microscopul să se perfecționeze în cele din urmă atât de mult, încât să se descopere particulele corpurilor de care depind culorile lor, deși pînă acum nu a ajuns chiar la acel grad de perfecționare. Căci dacă aceste instrumente sînt sau pot fi perfecționate încît să poată reprezenta cu destulă claritate obiectele de cinci sau de șase sute de ori mai mari decât apar ochiului nostru liber la o distanță de un picior, sper că vom fi în stare să descoperim unii dintre corpusculii respectivi de cele mai mari dimensiuni. Iar cu unul care ar mări de trei sau de patru mii de ori poate că se vor descoperi toate, cu excepția celor care produc negrul. Pînă atunci nu văd în această expunere nimic esențial care ar putea fi pus la îndoială, cu excepția afirmației că corpusculele transparente de aceeași grosime și densitate cu o placă prezintă aceeași culoare. Dar nici aceasta nu aș dori să fie înțeleasă în toată rigoarea, pe de o parte fiindcă acei corpusculi pot avea forme neregulate și unele raze pot cădea pe ei oblic și astfel pot parcurge prin ei un drum mai scurt decât lungimea diametrului lor, iar pe de altă parte și fiindcă presiunea mediului micșorat din toate părțile de astfel de corpusculi le poate întrucîtva modifica mișcările sau celelalte calități de care depinde reflexia. Totuși, nu pot pune la îndoială acest ultim raționament, deoarece am observat că unele plăci de mică de aceeași grosime, fiind privite prin microscop, apăreau la marginile și colțurile lor, unde se termina mediul închis, de aceeași culoare pe care o aveau în alte părți ale lor. Oricum, am fi foarte satisfăcuți dacă acei corpusculi ar fi descoperiți cu microscopul, ceea ce, dacă cu timpul am obține-o, cred că aceasta ar fi cea mai mare perfecționare a acestui simț. Într-adevăr, pare imposibil să descoperim secretele mai adînci și fenomenele ascunse ale naturii în acești corpusculi din cauza transparenței lor.

#### PROPOZIȚIA VIII

*Cauza reflexiei nu este ciocnirea luminii de solid sau de părțile impenetrabile ale corpurilor, după cum se crede de obicei.*

Aceasta se va vedea din următoarele considerații. În primul rînd, la trecerea luminii din sticlă în aer, reflexia e tot atât de intensă

ca la trecerea din aer în sticlă sau chiar ceva mai intensă și în oarecare măsură mai intensă decât la trecerea ei din sticlă în apă. Nu se pare de loc probabil că aerul ar avea părți mai intens reflectatoare decât apa sau sticla. Dar, chiar dacă am considera așa ceva posibil, nu ne-ar servi la nimic, căci reflexia e tot atât de intensă când aerul e scos din sticlă (de exemplu cu pompa de aer inventată de *Otto Gueriet\**, perfecționată și făcută utilizabilă de d. *Boyle*) ca și atunci când aerul e în interiorul ei. *În al doilea rând*, dacă lumina în trecerea ei din sticlă în aer cade mai oblic decât sub un unghi de  $40$  sau  $41^\circ$  se reflectă total, iar dacă incidența a mai puțin oblică, atunci în cea mai mare parte se transmite. Nu ne putem însă imagina că lumina la un anumit grad de înclinație se întâlnește cu destui pori în aer pentru a se transmite în cea mai mare parte, iar la un alt grad de înclinație nu se întâlnește decât cu părți care o reflectă complet, în special considerînd că la trecerea din aer în sticlă, oricît de oblică ar fi incidența ei, există destui pori în sticlă pentru a transmite o mare parte din ea. Dacă cineva ar presupune că lumina nu e reflectată de aer, ci de părțile cele mai superficiale ale sticlei, întîlnim aceeași dificultate. Afară de aceasta, o astfel de presupunere e de neînțeles și va apărea și falsă dacă punem în spatele unei porțiuni a sticlei apă în loc de aer. Căci pentru o înclinare convenabilă a razelor, cum ar fi de  $45$  sau  $46^\circ$ , la care toate se reflectă când aerul este în interiorul sticlei, ele vor fi transmise în măsură mai mare când în interiorul sticlei este apă, ceea ce arată că reflexia sau transmisia depinde de constituția aerului și a apei din spatele sticlei și nu de incidența razelor pe părțile solide ale sticlei. *În al treilea rând*, dacă culorile produse de o prismă așezată la intrarea unui fascicul de lumină într-o cameră întunecată cad succesiv pe o a doua prismă situată la o distanță mai mare decât prima, în așa fel încît au aceeași incidență pe ea, prisma a doua se poate înclina în așa fel față de razele incidente, încît toate cele de culoare albastră vor fi reflectate de ea, pe cînd cele roșii vor fi în mare parte transmise. Dacă reflexia ar fi cauzată de părțile aerului sau ale sticlei, aș vrea să aflu de ce la același unghi de incidență toate razele albastre vor lovi în plin acele părți, astfel încît toate să fie reflectate și totuși roșul să găsească pori suficienți pentru a fi transmis într-o mare măsură. *În al patrulea rând*, dacă două sticle sînt în contact, acolo nu există reflexie sensibilă, după cum s-a spus în observația întîi; eu nu văd nici un motiv pentru care razele nu ar lovi părțile sticlei la fel cînd sînt în contact cu altă

---

\* Otto Guericke.



sticlă sau cînd sînt învecinate cu aerul. *În al cincilea rînd*, dacă vîrfurile unui balon de săpun (observația a 17-a) prin continua scurgere și vaporizare a apei devenea foarte subțire, atunci se reflecta pe el o cantitate atît de mică și aproape insensibilă de lumină, încît părea intens negru, pe cînd în jurul petei negre unde lamela de apă era mai groasă reflexia era atît de intensă, încît făcea ca apa să pară foarte albă. Dar nu numai la cea mai mică grosime a plăcilor subțiri sau a baloanelor de săpun nu se vede nici o reflexie, ci la multe alte grosimi care cresc din ce în ce mai mult. Într-adevăr, în observația a 15-a razele de aceeași culoare se transmit alternativ la o anumită grosime și se reflectă la o altă grosime pentru un număr nedeterminat de succesiuni. Totuși, la suprafața corpurilor subțiri, unde grosimea este neglijabilă, razele lovesc tot atîtea părți ca și acolo unde există altă grosime. *În al șaselea rînd*, dacă reflexia este cauzată de părțile corpurilor reflectatoare, atunci va fi imposibil pentru plăcile subțiri sau pentru baloanele de săpun să reflecte razele de o culoare și să transmită pe cele de altă culoare într-unul și același loc, cum se întîmplă potrivit observațiilor a 13-a și a 15-a. Căci nu ne putem imagina că într-un loc razele care, de exemplu, prezintă o culoare albastră pot din întîmplare să întîlnească particulele corpului, iar cele care prezintă roșu să nimerească porii corpului; apoi ca într-un alt loc unde corpul este fie puțin mai gros, fie puțin mai subțire, din contra albastrul să nimerească porii, iar roșul să lovească particulele. *În sfîrșit*, dacă razele de lumină s-ar reflecta prin atingerea particulelor solide ale corpurilor, reflexiile lor de către corpurile șlefuite nu ar fi atît de regulate. Într-adevăr, dacă sticla este șlefuită cu nisip, chit sau tripoli\*, nu ne putem imagina că acele substanțe pot, prin zgîrierea și frecarea sticlei, să dea particulelor lor celor mai mici un lustru perfect, astfel ca întreaga lor suprafață să fie perfect plană sau sferică, și să aibă pretutindeni același aspect, astfel încît să formeze împreună o suprafață netedă. Cu cît sînt mai mici particulele acelor substanțe, cu atît vor fi mai mici zgîrieturile făcute de frecarea și de uzarea continuă a sticlei pînă cînd se șlefuieste; dar ele nu pot fi niciodată atît de mici încît să uzeze sticla altfel decît prin frecare, zgîriere și rupînd proeminențele; prin urmare, șlefuirea nu are loc altfel decît prin reducerea rugozității la grăunțe foarte fine, în așa fel că zgîrieturile și șanțulețele suprafeței să devină mai mici decît pot fi observate. În consecință, dacă lumina s-ar reflecta la atingerea

---

\* Sediment de bioxid de siliciu, alcătuit din scoici și infuzori, întrebuințat în industrie.

particulelor solide ale sticlei, ea ar fi împrăștiată în aceeași măsură de sticla cea mai lucioasă ca și de cea mai rugoasă. Atunci rămîne problema cum se poate ca sticla șlefuită cu substanțe care îi zgîrîie suprafața poate reflecta lumina așa cum se întîmplă de fapt. Această problemă nu se poate rezolva altfel decît presupunînd că reflexia unei raze nu se efectuează de un singur punct al corpului reflectator, ci de o anumită putere a corpului care este în mod egal răspîndită pe întreaga lui suprafață și prin care corpul acționează asupra razei fără contact imediat. Într-adevăr, părțile corpului acționează la distanță asupra luminii, după cum se va arăta în cele ce urmează.

Dacă lumina nu se reflectă prin lovirea de părțile solide ale corpurilor, ci datorită vreunui alt principiu, este probabil că razele care lovesc părțile solide ale corpurilor nu sînt reflectate, ci se sting și se pierd în corpuri. Căci altfel trebuie să admitem două feluri de reflexii. Dacă toate razele care lovesc părțile interne ale apei limpezi sau ale cristalului s-ar reflecta, acele substanțe ar avea mai degrabă o culoare tulbure decît o transparență clară. Pentru a face corpurile să apară negre este necesar ca o mare parte din raze să fie oprite, reținute și pierdute în el și nu este probabil ca vreo rază oarecare să se oprească și să se stingă în el fără să lovească părțile acelui corp.

De aici putem trage concluzia că corpurile sînt cu mult mai rare și mai poroase decît se crede în general. Apa este de nouăsprezece ori mai ușoară și, în consecință, de nouăsprezece ori mai rară decît aurul, iar aurul este atît de rar, încît transmite foarte ușor și fără cea mai mică opoziție fluxurile magnetice, admite cu ușurință mercurul în porii săi și lasă apa să treacă prin el. Într-adevăr, o sferă concavă de aur umplută cu apă și sudată, supusă unei presiuni mari, lăsa să străbată apa prin ea și să se depună pe fața ei exterioară într-o mulțime de picături mici ca roua fără să sfărîme sau să spargă sfera de aur, după cum am fost informat de un martor ocular. Din toate acestea putem conchide că aurul are mai mulți pori decît părți solide și că, în consecință, apa are peste patruzeci de ori mai mulți pori decît părți solide. Cine va găsi o ipoteză potrivit căreia apa poate fi atît de rară și totuși fără să fie posibil să fie comprimată prin forță poate face fără îndoială prin aceeași ipoteză ca aurul, apa și toate celelalte corpuri să pară atît de rare cît dorește, astfel ca lumina să poată găsi o trecere ușoară prin substanțele transparente.

Magnetul acționează asupra fierului prin toate corpurile dense nemagnetice sau incandescente fără vreo micșorare a puterii sale, ca, de exemplu, prin aur, argint, plumb, sticlă, apă. Forța gravitațională a Soarelui se transmite prin corpurile mari ale planetelor fără

vreo micșorare, astfel că acționează asupra tuturor părților lor spre centrele lor adevărate cu aceeași forță și după aceleași legi ca și când partea asupra căreia acționează nu ar fi înconjurată de corpul planetei. Razele de lumină, fie că sînt corpuri foarte mici proiectate sau numai mișcare sau forță propagată, se mișcă în linii drepte; ori de cîte ori o rază luminoasă este abătută de la drumul său rectiliniu de un obstacol oarecare, ea nu se va întoarce niciodată pe aceeași cale rectilinie, decît poate printr-o foarte mare întîmplare. Totuși lumina se transmite prin corpuri solide transparente în linii drepte la distanțe foarte mari. Este foarte greu, deși probabil nu cu totul imposibil de conceput, în ce fel pot avea corpurile o cantitate suficientă de pori pentru a produce aceste efecte. Căci culorile corpurilor se nasc, după cum s-a explicat mai sus, din mărimile particulelor care le reflectă. Concepem aceste particule ale corpurilor că fiind dispuse între ele în așa fel încît intervalele sau spațiile goale dintre ele pot fi egale în mărime cu toate particulele luate împreună și că aceste particule pot fi compuse din alte particule cu mult mai mici, care au atîtea spații vide între ele încît să egaleze toate mărimile acestor particule mai mici, și că la fel aceste particule mai mici sînt iarăși compuse din alte particule mai mici, care toate împreună sînt egale cu toți porii sau spațiile goale dintre ele, și în continuare la fel pînă ce se ajungeau la particule solide care să nu aibă între ele pori sau spații vide. Iar dacă într-un corp voluminos există, de exemplu, trei astfel de grade de particule, dintre care cele mai mici sînt solide, acest corp va avea de șapte ori mai mulți pori decît părți solide. Dacă însă sînt patru astfel de grade de particule, dintre care cele mai mici sînt solide, corpul va avea de cincisprezece ori mai mulți pori decît părți solide. Dacă există cinci grade, corpul va avea de treizeci și unu de ori mai mulți pori decît părți solide. Dacă sînt șase grade, corpul va avea de șasezeci și trei de ori mai mulți pori decît părți solide. Mai sînt și alte căi de a concepe în ce chip corpurile pot fi atît de poroase. Dar adevărata lor constituție internă încă nu o cunoaștem.

#### PROPOZIȚIA IX

*Corpurile reflectă și refractă lumina printr-una și aceeași forță, exercitată în mod diferit în diferite condiții.*

Aceasta se demonstrează prin diverse considerații. *Întîi*, din cauză că lumina, cînd trece din sticlă în aer, iese cît mai oblic cu

putință, iar dacă incidența devine și mai oblică, atunci se reflectă total. Dacă incidența devine mai oblică, puterea sticlei după ce a refractat lumina cît se poate de oblic devine atît de mare, încît nu mai lasă razele s-o străbată și, în consecință, produce reflexia totală. În al doilea rînd, fiindcă lumina este în mod alternativ reflectată și transmisă de plăcile subțiri de sticlă în mai multe succesiuni, pe măsură ce grosimea plăcii crește în progresie aritmetică. Într-adevăr, grosimea plăcii este aceea care determină dacă puterea prin care sticla acționează asupra luminii o face să se reflecte sau să fie transmisă. În al treilea rînd, deoarece suprafețele corpurilor transparente care au puterea de refracție maximă reflectă cantitatea cea mai mare de lumină, după cum s-a arătat în prima propoziție.

#### PROPOZIȚIA X

*Dacă lumina e mai rapidă în corpuri decît în vid în raportul sinusurilor care măsoară refracția corpurilor, forțele corpurilor de a reflecta și a refracta lumina sînt aproximativ proporționale cu densitățile acelorași corpuri, cu excepția corpurilor uleioase și sulfuroase, care refractă mai mult decît altele de aceeași densitate.*

Fie  $AB$  (fig. 8) suprafața plană de refracție a unui corp, iar  $IC$  o rază incidentă care cade foarte oblic pe corp în  $C$ , astfel că unghiul  $ACI$  poate fi infinit de mic, și fie  $CR$  raza refractată. Dintr-un punct  $B$  dat să ridicăm perpendiculară pe suprafața de refracție linia  $BR$ , care întîlnește raza refractată  $CR$  în  $R$ , iar dacă  $CR$  reprezintă mișcarea razei refractate și această mișcare se descompune în două mișcări  $CB$  și  $BR$ , dintre care  $CB$  este paralelă cu planul de refracție și  $BR$  perpendiculară pe el,  $CB$  va reprezenta mișcarea razei incidente, iar  $BR$  mișcarea generată de refracție, după cum au arătat nu demult opticienii.

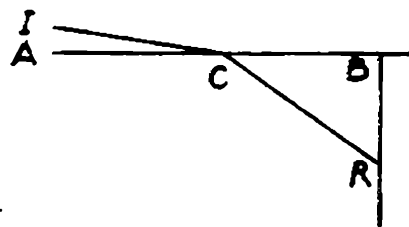


Fig. 8

Dacă un corp sau lucru mișcîndu-se printr-un spațiu de lățime dată, fiind mărginit în ambele părți de două plane paralele, este împins înainte către toate părțile acelui spațiu de forțe îndreptate către ultimul plan înainte de incidența sa pe primul plan nu are nici o mișcare înspre el sau numai una infinit de mică; dacă forțele în toate părțile acestui spațiu dintre cele două plane la distanțe egale de plane sînt egale între ele, iar la distanțe diferite sînt mai

mari sau mai mici într-un raport dat, mișcarea generată de forțe în întreaga trecere a corpului sau a lucrului prin acel spațiu va fi în raportul rădăcinii pătrate a forțelor, așa cum vor înțelege foarte ușor matematicienii. Prin urmare, dacă considerăm că un astfel de spațiu este spațiul de activitate al suprafețelor de refracție ale corpului, atunci mișcarea razei produsă de forța de refracție a corpului în timpul trecerii ei prin acel spațiu, adică mișcarea  $BR$ , trebuie să fie proporțională cu rădăcina pătrată a forței de refracție. Spun deci că pătratul liniei  $BR$  și, în consecință, forța de refracție a corpului sînt aproape exact proporționale cu densitatea aceluiași corp. Aceasta va apărea din tabela următoare, în care sînt puse în diverse coloane rapoartele sinusurilor ce măsoară refracțiile diverselor corpuri, pătratul lui  $BR$ , luînd  $CB$  ca unitate, densitățile corpurilor determinate după greutatea lor specifice și puterea lor de refracție în raport cu densitățile lor.

Refracția aerului în această tabelă este determinată de refracția atmosferică observată de astronomi. Într-adevăr, dacă lumina trece prin mai multe substanțe refringente sau medii din ce în ce mai dense terminate în suprafețe paralele, suma tuturor refracțiilor va fi egală cu singura refracție pe care ar suferi-o trecînd direct din mediul întîi în cel din urmă. Aceasta este adevărat chiar dacă numărul substanțelor refractatoare crește la infinit, iar distanța de la una la cealaltă descrește atît de mult, încît lumina se poate refracta în fiecare punct al drumului său și prin refracții continue descrie o linie curbă. Prin urmare, întreaga refracție a luminii la trecerea prin atmosferă în partea ei cea mai înaltă și mai rară în jos pînă la partea cea mai joasă și mai densă trebuie să fie egală cu refracția pe care ar suferi-o la trecerea sub aceeași înclinație din vid direct în aerul a cărui densitate ar fi egală cu cea din partea inferioară a atmosferei. Deși topazul fals, selenita, cristalul de stîncă, cristalul de Islanda, sticla ordinară (adică nisip topit) și sticla de antimoniu, care sînt constituite din concrețiuni terestre, pietroase, alcaline și aerul care probabil provine din astfel de substanțe prin fermentație, sînt substanțe care au densități foarte diferite una de cealaltă, totuși după această tabelă își au puterile de refracție aproape în același raport ca și densitățile lor, cu excepția faptului că refracția acelei substanțe curioase, cristalul de Islanda, e cu ceva mai mare decît la celelalte. În particular, aerul, care e de 3 500 de ori mai rar decît topazul fals, de 4 400 de ori mai rar decît sticla de antimoniu și de 2 000 de ori mai rar decît selenita, sticla ordinară sau cristalul de stîncă, are în ciuda acestui fapt aceeași putere de refrac-

Corpuri refringente	Raportul dintre sinu- sul de incidență și cel de refracție al luminii galbene		Rădăcina pătrată a lui $BR$ cu care e proporți- onală forța de refracție a corpului	Densita- tea și greutatea specifică a corpului	Puterea de refrac- ție a corpului în raport cu densi- tatea lui
Topazul fals este o piatră naturală, transparentă, ca- santă, fibroasă, de culoare galbenă	23 la	14	1,699	4,27	3 979
Aer	3 201 la	3 200	0,000625	0,0012	5 208
Sticlă de antimoniu	17 la	9	2,568	5,28	4 864
Selenit	61 la	41	1,213	2,252	5 386
Sticlă ordinară	31 la	20	1,4025	2,58	5 436
Cristal de stîncă	25 la	16	1,445	2,65	5 450
Cristal de Islanda	5 la	3	1,778	2,72	6 536
Sare gemă	17 la	11	1,388	2,143	6 477
Alaun	35 la	24	1,1267	1,714	6 570
Borax	22 la	15	1,1511	1,714	6 716
Salpetru	32 la	21	1,345	1,9	7 079
Vitriol de Danzig	303 la	200	1,295	1,715	7 551
Ulei de vitriol	10 la	7	1,041	1,7	6 124
Apă de ploaie	529 la	396	0,7845	1	7 845
Gumă arabică	31 la	21	1,179	1,375	8 574
Spirt de vin bine rafinat	100 la	73	0,8765	0,866	10 121
Camfor	3 la	2	1,25	0,996	12 551
Ulei de măsline	22 la	15	1,1511	0,913	12 607
Ulei de in	40 la	27	1,1948	0,932	12 819
Spirt de tereben- tină	25 la	17	1,1626	0,874	13 222
Chihlimbar	14 la	9	1,42	1,04	13 654
Diamant	100 la	41	4,949	3,4	14 556

ție în raport cu densitatea sa, pe care o au substanțele foarte dense în raport cu densitatea lor, cu excepția micilor diferențe care există între puterile lor de refracție și densitățile lor.

Dacă comparăm refracțiile camforului, uleiului de măsline, uleiului de in, spirtului de terebentină și chihlimbarului, care sînt corpuri sulfuroase, uleioase, și a diamentului, care, probabil, e o substanță uleioasă coagulată, va apărea că puterile de refracție a acestor substanțe diferite sînt aproximativ în același raport ca și

densitățile lor, fără să apară vreo abatere considerabilă. Dar puterile de refracție ale acestor substanțe uleioase sînt de două sau de trei ori mai mari în raport cu densitățile lor decît puterile de refracție ale substanțelor menționate mai înainte în raport cu densitățile lor.

Apa are o putere de refracție mijlocie între cele două feluri de substanțe, fiind probabil de natură intermediară. Din ea derivă toate substanțele vegetale și animale, care constau atît din părți sulfuroase, grase și inflamabile, cît și din părți terestre, slabe și alcaline.

Sărurile și vitriolurile au puteri de refracție de grad mijlociu între cele ale substanțelor terestre și apei și, în consecință, sînt compuse din acele două feluri de substanțe. Într-adevăr, la distilarea și la rectificarea spirtului lor, o mare parte din ele se transformă în apă, iar o mare parte rămîne sub formă de pămînt uscat, fixat, care poate fi vitrificat.

Spirtul de vin are o putere de refracție mijlocie între cea a apei și a substanțelor uleioase și de aceea pare a fi compus din amîndouă, unite prin fermentație, întrucît apa, prin intermediul unor spirturi saline cu care este impregnată, dizolvă uleiul, care prin acțiunea sa se volatilizează. Căci spiritul de vin e inflamabil datorită părților sale uleioase și, dacă este multiplu distilat din sarea de tartru, la fiecare distilare devine din ce în ce mai apos și mai mucilaginos. Chimistii observă că plantele (cum sînt leventica, vîrnanțul, măghiranul etc.), distilate separat, înainte de fermentare produc ulei fără spirt arzător, însă după fermentare produc spirt fără ulei, ceea ce arată că prin fermentare uleiul lor s-a transformat în spirt. Ei mai află că, dacă se toarnă uleiuri în cantități mici pe plantele în fermentație, atunci ele îl vor distila sub formă de spirturi după fermentație.

În acest fel, din tabela precedentă se pare că puterile de refracție ale tuturor corpurilor sînt proporționale cu densitățile lor (sau foarte aproape proporționale), cu excepția celor care posedă particule mai mult sau mai puțin sulfuroase, uleioase, datorită căreia puterea lor de refracție se mărește sau se micșorează. De aceea pare rațional să se atribuie puterea de refracție a tuturor corpurilor în cea mai mare parte, dacă nu cu totul, părților sulfuroase pe care acestea le conțin în mare cantitate; este probabil ca toate corpurile să conțină mai mult sau mai puțin sulf. Cu cît lumina concentrată de o lentilă convergentă acționează mai mult asupra corpurilor sulfuroase încît le prefăce în foc și flacără, cu atît sulful trebuie să acționeze mai intens asupra luminii, fiindcă orice acțiune este reciprocă. Într-adevăr,

considerațiile care urmează arată că acțiunea dintre lumină și corpuri este reciprocă, și anume corpurile mai dense, care refractă și reflectă lumina mai intens, se încălzesc mai tare la soarele de vară prin acțiunea de refracție și reflexie a luminii.

Pînă aici am explicat puterea de reflexie și de refracție a corpurilor și am arătat că plăcile subțiri transparente, fibrele și particulele corpurilor datorită diferitelor lor grosimi și densități reflectă diverse feluri de raze și deci ele apar în diverse culori; în consecință, pentru a produce toate culorile corpurilor naturale nu se cere nimic mai mult decît diferitele mărimi și densități ale particulelor transparente din corpurile naturale. Pînă acum însă nu am explicat de unde provine faptul că aceste plăci, fibre și particule, reflectă, în urma grosimilor și densităților lor diferite, diversele feluri de raze. Pentru a permite o pătrundere mai adîncă în această materie și a înlesni înțelegerea părții a patra ce urmează a acestei cărți, voi termina această parte cu încă cîteva propoziții. Cele precedente se refereau la natura corpurilor, acestea se vor referi la natura luminii, căci ambele trebuie înțelese înainte de a putea fi înțeleasă cauza acțiunilor lor reciproce. Fiindcă ultima propoziție depindea de viteza luminii, voi începe cu o propoziție de acest gen.

#### PROPOZIȚIA XI

*Lumina se propagă de la corpurile luminoase într-un timp oarecare și îi trebuie aproximativ șapte sau opt minute pentru a veni de la Soare la Pămînt.*

Acest fapt a fost observat mai întîi de *Roemer* și apoi de alții prin studierea eclipselor sateliților lui *Iupiter*. Într-adevăr, aceste eclipse, cînd Pămîntul se află între Soare și *Iupiter*, au loc cu șapte sau opt minute mai curînd decît ar trebui după tabele, iar cînd Pămîntul este dincolo de Soare, ele se petrec cu șapte sau opt minute mai tîrziu decît trebuie, cauza fiind aceea că lumina sateliților în cazul din urmă are de parcurs un drum mai lung cu diametrul orbitei Pămîntului decît în primul caz. Oarecare inegalități de timp pot proveni din excentricitățile orbitelor sateliților, dar acestea nu pot corespunde totdeauna poziției și distanței de la Pămînt la Soare. Mișcările mijlocii ale sateliților lui *Iupiter* de asemenea sînt mai rapide la coborîrea lui de la afeliu la periheliu decît la ascensiunea lui pe cealaltă jumătate a orbitei sale. Această inegalitate însă nu



are nici o legătură cu poziția Pământului și este sensibilă la cei trei sateliți interiori, după cum am determinat eu prin calcul în teoria gravitației lor.

## PROPOZIȚIA XII

*Orice rază de lumină în trecerea sa printr-o suprafață refractatoare capătă o anumită constituție sau stare, care în înaintarea razei revine la intervale egale și face ca raza la fiecare revenire să fie transmisă ușor prin următoarea suprafață refractatoare, iar între reveniri să fie reflectată ușor de această suprafață.*

Lucrul acesta este evident din observațiile a 5-a, a 9-a, a 12-a și a 15-a. În aceste observații apare că unul și același fel de raze pentru unghiuri egale de incidență pe plăci subțiri transparente este alternativ reflectat și transmis în mai multe succesiuni după cum grosimea plăcii crește în progresia aritmetică a numerelor 1,2,3,4,5,6,7,8 etc., astfel că, dacă prima reflexie (cea care produce primul sau cel mai dinăuntru dintre inelele colorate descrise) are loc la grosimea 1, razele se vor transmite la grosimile 0,2,4,6,8, 10,12 etc., și deci vor produce pata centrală și inelele de lumină care apar la transmisie și se vor reflecta la grosimile 1,3,5,7,9,11 etc. și deci vor produce inelele care apar la reflexie. Această reflexie și transmisie alternativă, după cum o deduc din observația a 24-a, continuă cu peste o sută de succesiuni, iar din observațiile din partea a patra a acestei cărți cu vreo cîteva mii, propagîndu-se de la o suprafață a plăcii de sticlă la cealaltă, deși grosimea plăcii este de un sfert de inch sau mai mare, astfel că această alternare pare a se propaga de la fiecare suprafață de refracție la toate distanțele fără capăt sau limitare.

Această reflexie și refracție alternativă depind de ambele suprafețe ale fiecărei plăci subțiri, fiindcă depind de distanța lor. Din observația a 21-a, dacă vreuna din cele două suprafețe ale plăcii subțiri de mică se udă, culorile cauzate de reflexia și refracția alternative devin slabe și deci această reflexie și refracție depind de ambele suprafețe.

Reflexia și refracția se produc deci la suprafața a doua; căci dacă s-ar face la prima, înainte ca razele să ajungă la a doua, nu ar depinde de cea de-a doua.

Ele sînt de asemenea influențate de o anumită acțiune sau dispoziție propagată de la prima suprafață la a doua, pentru că altfel razele venite la a doua suprafață nu ar depinde de prima suprafață. Această acțiune sau dispoziție în propagarea ei se întreprinde și revine la intervale egale, fiindcă în toate înaintările sale înclină raza, astfel ca la o anumită distanță de la prima suprafață să se reflecte pe a doua, iar la altă distanță să fie transmisă de ea, și aceasta la intervale egale pentru nenumărate succesiuni. Pentru că raza e dispusă să se reflecte la distanțele 1,3,5,7,9 etc. și să fie transmisă la distanțele 0,2,4,6,8,10 etc. (căci transmisia ei prin prima suprafață se face la distanța 0 și se transmite prin amîndouă deodată dacă distanța lor este infinit de mică sau cu mult mai mică decît 1), dispoziția de a fi transmisă la distanțele 2,4,6,8,10 etc. trebuie considerată ca o revenire la aceeași dispoziție pe care o avea raza mai întîi la distanța 0, adică la transmiterea ei prin prima suprafață de refracție. Aceasta este tot ce voiam să demonstrez.

Aici nu cercetez ce fel de acțiune sau dispoziție este aceasta sau dacă ea constă dintr-o mișcare circulatorie sau vibratorie a razei sau a mediului ori din altceva. Aceia care nu doresc să admită nici o descoperire nouă în afară de cele care pot fi explicate printr-o ipoteză pot admite deocamdată că, așa cum pietrele care cad în apă pun apa într-o mișcare ondulatorie și toate corpurile prin percuție produc vibrații în aer, la fel razele de lumină căzînd pe o suprafață de refracție sau de reflexie excită vibrații în mediul sau substanța refractatoare sau reflectatoare și, excitînd-o, agită părțile solide ale corpului refractor sau reflector și prin agitație fac ca corpul să se încălzească sau să se răcească; vibrațiile excitate în acest fel se propagă în mediul sau substanța refractatoare sau reflectatoare în același chip în care vibrațiile se propagă în aer, dînd naștere sunetului, și se mișcă mai repede decît razele astfel încît le întrece; dacă vreo rază este în acea parte a vibrației care concurează cu mișcarea sa, ea trece ușor prin suprafața de refracție; cînd însă se află de partea contrară a vibrației care îi împiedică mișcarea, se reflectă ușor; în consecință, fiecare rază e succesiv dispusă să fie ușor reflectată sau ușor transmisă la fiecare vibrație care o întrece. Eu însă nu examinez aici dacă această ipoteză este adevărată sau falsă. Mă mulțumesc cu descoperirea pură că razele de lumină dintr-o cauză sau alta sînt alternativ dispuse să fie reflectate sau refractate în diferite reprize.

## DEFINIȚIE

*Revenirile dispoziției unei raze de a fi reflectată le voi numi accese de ușoară reflexie și cele ale dispoziției de a fi transmise accese de ușoară transmisie, iar spațiul ce se află între fiecare revenire și cea imediat următoare intervalul acceselor sale.*

## PROPOZIȚIA XIII

*Cauza pentru care suprafețele tuturor corpurilor transparente groase reflectă o parte din lumina incidentă pe ea și refractă restul este că unele raze la incidența lor sînt în accese de ușoară reflexie, iar altele în accese de ușoară transmisie.*

Aceasta se poate deduce din observația a 24-a, unde lumina reflectată de lamele înguste de aer și sticlă, care ochiului liber îi apărea la fel de albă pe toată lamela, privită printr-o prismă apărea ondulată cu diferite succesiuni de lumină și întuneric, formate de accese alternative de ușoară reflexie, și ușoară transmisie, prisma separînd și distingînd undele din care era compusă lumina albă, după cum s-a explicat mai sus.

De aceea lumina se găsește în accese de ușoară reflexie și de ușoară transmisie înaintea incidenței sale pe corpurile transparente. Probabil că ea este pusă în astfel de accese la prima sa emisie din corpurile luminoase și continuă în ele în timpul propagării sale. Aceste accese sînt de natură durabilă, după cum va apărea în partea a patra a acestei cărți.

În această propoziție presupun că corpurile transparente sînt groase, deoarece, dacă grosimea corpului este cu mult mai mică decît intervalul de ușoară reflexie și transmisie a razelor, corpul își pierde puterea de reflexie. Într-adevăr, dacă razele care la intrarea lor în corp se află în accese de ușoară transmisie ajung la suprafața mai îndepărtată a corpului înainte de a ieși din acele accese, ele trebuie să fie transmise. Aceasta este cauza pentru care baloanele de săpun își pierd puterea de reflexie dacă devin foarte subțiri și pentru care toate corpurile opace, cînd sînt divizate în părți foarte mici, devin transparente.

## PROPOZIȚIA XIV

*Acele suprafețe ale corpurilor transparente care refractă raza mai puternic dacă aceasta se află într-un acces de refracție o reflectă mai ușor atunci când raza se află într-un acces de reflexie.*

Într-adevăr, am arătat mai sus, în propoziția a VIII-a că nu incidența luminii asupra părților solide impenetrabile ale corpurilor este cauza reflexiei, ci o altă putere oarecare cu care acele părți solide acționează asupra luminii la distanță. Am arătat de asemenea în propoziția a IX-a că corpurile reflectă și refractă lumina cu una și aceeași putere exercitată diferit în condiții variate, iar în propoziția I că suprafețele cele mai intense refractatoare reflectă mai multă lumină. Toate acestea comparate între ele demonstrează și confirmă propoziția aceasta și pe cea precedentă.

## PROPOZIȚIA XV

*Într-unul și același fel de raze care trec sub un unghi oarecare dintr-o suprafață de refracție într-unul și același mediu, intervalele acceselor succesive de ușoară reflexie și transmisie se raportează fie exact, fie aproape exact precum produsul secantei unghiului de refracție și al secantei altui unghi al cărui sinus este primul din 106 medii aritmetice proporționale între sinusurile de incidență și refracție, calculat din sinusul de refracție.*

Aceasta este evident din observațiile a 18-a și a 19-a.

## PROPOZIȚIA XVI

*În diferitele feluri de raze care trec dintr-o suprafață de refracție oarecare în același mediu, intervalele acceselor succesive de ușoară reflexie și de ușoară transmisie sînt fie exact fie aproape exact ca rădăcinile cubice ale pătratelor lungimilor unei coarde care produce notele unei octave sol, la, fa, sol, la, mi, fa, sol, împreună cu toate gradele lor intermediare corespunzătoare culorilor acelor raze, potrivit analogiei descrise în experiența a 7-a din partea a II-a a cărții întâi.*

Aceasta rezultă din observațiile a 13-a și a 14-a.

## PROPOZIȚIA XVII

*Dacă raze de un fel oarecare traversează perpendicular mai multe medii, intervalele acceselor de ușoară reflexie și transmisie într-un mediu oarecare sînt, către intervalele din alt mediu, în același raport ca și sinusul de incidență către sinusul de refracție cînd razele trec din primul din aceste medii în al doilea.*

Aceasta rezultă din observația a 10-a.

## PROPOZIȚIA XVIII

*Dacă razele care produc culoarea de la limita dintre galben și portocaliu trec perpendicular dintr-un mediu oarecare în aer, intervalele acceselor lor de ușoară reflexie sînt de  $\frac{1}{89\,000}$  inch. De aceeași lungime sînt și intervalele acceselor lor de ușoară transmisie.*

Acest lucru rezultă din observația a 6-a.

Din aceste propoziții sînt ușor de determinat intervalele acceselor de ușoară reflexie și de ușoară transmisie ale oricăror feluri de raze refractate sub un unghi oarecare într-un mediu oarecare; de aici putem afla dacă razele vor fi reflectate sau transmise la prima lor incidență pe orice alt mediu transparent. Acest lucru trebuia arătat în acest loc, fiind util înțelegerii părții următoare a acestei cărți. Din același motiv adaug următoarele propoziții.

## PROPOZIȚIA XIX

*Dacă un fel oarecare de raze căzînd pe suprafața netedă a unui mediu transparent este reflectat înapoi, accesele de ușoară reflexie pe care le au în punctul de reflexie, vor continua să revină, iar revenirile vor fi de la punctul de reflexie în progresia aritmetică a numerelor 2,4,6,8,10,12 etc. și între aceste accese razele vor fi în accese de ușoară transmisie.*

Într-adevăr, deoarece accesele de ușoară reflexie și de ușoară transmisie revin în mod natural, nu există nici un motiv pentru care aceste accese care continuau pînă ce raza ajungea la mediul reflectător, unde făceau ca ea să se reflecte, să înceteze acolo. Iar dacă raza în punctul de reflexie era într-un acces de ușoară reflexie, progresia distanțelor acestor accese de la acel punct trebuie să

înceapă cu 0 și să urmeze numerele 0,2,4,6,8 etc. Prin urmare, progresia distanțelor acceselor intermediare de ușoară transmisie, luată din același punct, trebuie să fie în progresia numerelor impare 1,3,5,7,9 etc., contrar cu ceea ce se întâmplă când accesele se propagă din punctele de refracții

#### PROPOZIȚIA XX

*Intervalele acceselor de ușoară reflexie și ușoară transmisie propagate de la punctele de reflexie într-un mediu oarecare sînt egale cu intervalele acceselor asemănătoare pe care le-ar avea aceleași raze dacă s-ar refracta în același mediu sub unghiuri de refracție egale cu unghiurile lor de reflexie.*

Într-adevăr, dacă lumina se reflectă la suprafața a doua a plăcilor subțiri, ea iese apoi liberă la prima suprafață pentru a forma inelele colorate care apar în reflexie, iar la ieșirea sa liberă face să apară culorile acestor inele mai vii și mai intense decît cele care apar de cealaltă parte a plăcilor în lumină transmisă. Razele reflectate sînt deci la ieșirea lor în accese de ușoară transmisie, ceea ce nu s-ar întâmpla totdeauna dacă intervalele acceselor în interiorul plăcilor după reflexie nu ar fi egale atît în lungime, cît și în număr cu intervalele lor înaintea ei. Aceasta confirmă și ipotezele enunțate în propoziția precedentă. Căci dacă razele, atît la intrarea, cît și la ieșirea din prima suprafață, se află în accese de ușoară transmisie, iar intervalele și numărul acelor accese între suprafața întâia și a doua înainte și după reflexie sînt egale, distanțele acceselor de ușoară transmisie de la fiecare suprafață trebuie să fie în aceeași progresie după reflexie ca și înaintea ei, adică de la prima suprafață, care le transmite, în progresia numerelor cu soț, 0,2,4,6,8 etc., iar de la a doua, care le reflectă, în aceea a numerelor fără soț, 1,3,5,7 etc. Aceste două propoziții vor deveni mai evidente prin observațiile din partea următoare a acestei cărți.

# Cartea a doua

## a

# O P T I C I I

### PARTEA IV

*Observații privitoare la reflexiile și la culorile plăcilor groase, transparente și netede.*

Nu există nici o sticlă sau oglindă oricît de bine șlefuită care, în afară de lumina pe care o refractă sau o reflectă regulat, să nu împrăstie neregulat în toate părțile o lumină slabă, prin mijlocirea căreia suprafața netedă, dacă e luminată într-o cameră întunecată de un fascicul de lumină solară, poate fi ușor văzută din toate pozițiile ochiului. Lumina astfel dispersată prezintă anumite fenomene, care, cînd le-am observat mai întîi, mi-au părut foarte curioase și surprinzătoare. Observațiile mele sînt următoarele.

*Observația 1.* Cînd Soarele lumina în camera mea întunecată printr-o deschidere largă de o treime de inch, am lăsat fasciculul de lumină care intrase să cadă perpendicular pe o oglindă de sticlă șlefuită de o parte concavă de cealaltă convexă, după o sferă cu raza de cinci picioare și unsprezece inch, amalgamată pe partea convexă. Ținînd un carton alb opac sau o foaie de hîrtie în centrul sferei din care era șlefuită oglinda, adică la o distanță de vreo 5 picioare și 11 inch de oglindă, în așa fel ca fasciculul de lumină să poată trece printr-un mic orificiu făcut în mijlocul cartonului la oglindă și apoi să se reflecte înapoi în același orificiu, am observat pe carton patru sau cinci irisuri sau inele colorate concentrice, asemănătoare cu ale curcubeului, înconjurînd orificiul, la fel cu cele care apăreau între lentilele obiectiv în observația a 4-a și în cele următoare din partea întîi a acestei cărți înconjurînd pata neagră, dar mai largi și mai slabe decît acelea. Aceste inele, pe măsură ce creșteau în lărgime, deveneau mai diluate și mai slabe,

asa că al cincilea abia se mai vedea. Uneori însă, cînd Soarele strălucea foarte clar, apăreau trăsăturile slabe ale celui de-al şaselea şi al şaptelea. Dacă distanţa cartonului la oglindă era cu mult mai mare sau cu mult mai mică de şase picioare, inelele se diluau şi dispăreau. Iar dacă distanţa dintre oglindă şi fereastră era cu mult mai mare de şase picioare, fasciculul de lumină reflectată se lărgea atît de mult la distanţa de şase picioare de oglindă unde apăreau inelele, încît întuneca unul sau două din inelele interioare. De aceea eu aşezam de obicei oglinda la aproximativ şase picioare de fereastră, astfel ca focarul ei să poată coincide cu centrul concavităţii sale, acolo unde apăreau inelele pe carton. În observaţiile care urmează trebuie să se subînţeleagă întotdeauna această poziţie, afară de cazul cînd se specifică contrarul.

*Observaţia 2.* Culorile acestor curcubee se succedau una după alta de la centru spre exterior, în aceeaşi formă şi ordine cu cele produse în observaţia a 9-a din partea întâi a acestei cărţi, nu în lumină reflectată, ci în lumină transmisă prin două lentile-obiectiv. Căci în centrul lor comun era la început o pată albă, rotundă, de lumină slabă, ceva mai largă decît fasciculul de lumină reflectată; fasciculul cădea uneori în mijlocul petei, iar alteori printr-o mică înclinare a oglinzii se îndepărta de mijloc şi lăsa pata albă în centru.

Această pată albă era imediat înconjurată de un gri-închis sau brun, iar acesta era înconjurat de culorile primului iris, care în interior, imediat după griul întunecat, era puţin violet şi indigo, iar imediat după acesta un albastru, care în exterior devenea pal; apoi succeda un galben puţin verzui, iar după aceea un galben mai viu, iar la marginea exterioară a irisului un roşu care în exterior înclina spre purpuriu.

Acest prim iris era imediat înconjurat de un al doilea, ale cărui culori din interior spre exterior erau în ordinea: purpuriu, albastru, verde, galben, roşu viu şi un roşu amestecat cu purpuriu.

Imediat după ele urmau culorile irisului al treilea, care, luate din interior spre exterior, erau un verde înclinînd spre purpuriu, un verde clar şi un roşu mai deschis decît cel al irisului precedent.

Irisul al patrulea şi al cincilea păreau de un verde-albăstrui în interior şi roşu în exterior, dar atît de slab încît era greu de deosebit culorile.

*Observaţia 3.* Măsurînd diametrele acestor inele pe carton cît puteam de precis, am găsit că între ele există aceeaşi proporţie ca şi între inelele formate de lumina transmisă prin două lentile obiectiv. Într-adevăr, diametrele primelor patru inele strălucitoare măsu-



rate între părțile cele mai strălucitoare ale orbitelor lor, la distanța de șase picioare de la oglindă, erau de  $1 \frac{11}{16}$ ,  $2 \frac{3}{8}$ ,  $2 \frac{11}{12}$ ,  $3 \frac{3}{8}$  inch, ale căror pătrate sînt în progresia aritmetică a numerelor 1,2,3,4. Dacă pata albă circulară din mijloc o numărăm printre inele, iar lumina ei centrală, unde pare mai luminoasă, o luăm echivalentă cu un inel infinit de mic, pătratele diametrelor inelelor vor fi în progresia 0,1,2,3,4 etc. Am măsurat și diametrele cercurilor întunecoase care se aflau între cele luminoase și am găsit că pătratele lor se află în progresia următoarelor  $\frac{1}{2}$ ,  $1 \frac{1}{2}$ ,  $3 \frac{1}{2}$ ,  $3 \frac{1}{2}$  etc., diametrele

primelor patru la distanța de șase picioare de oglindă fiind de  $1 \frac{3}{16}$ ,  $2 \frac{1}{16}$ ,  $2 \frac{2}{3}$ ,  $3 \frac{3}{20}$  inch. Dacă distanța de la carton la oglindă se mărea sau se micșora, diametrele cercurilor creșteau sau scădeau proporțional.

*Observația 4.* Din analogia dintre aceste inele și cele descrise în observațiile din partea I a acestei cărți am observat că erau cu mult mai multe cele care se întindeau peste altele și prin întrepătrundere își amestecau culorile și se diluau unul în altul, astfel încît nu puteau fi observate separat. Eu le priveam printr-o prismă, cum am făcut cu cele din observația a 24-a din partea întâi a acestei cărți. Cînd prisma era plasată în așa fel încît refractînd lumina culorilor amestecate le separa, inelele se distingeau unul de altul, după cum s-a întîmplat în acea observație, și astfel le-am putut vedea mai distinct decît înainte și am putut observa opt sau nouă din ele, ba uneori douăsprezece sau treisprezece. Dacă lumina nu ar fi fost atît de slabă, nu mă îndoiesc că aș fi putut vedea cu mult mai multe.

*Observația 5.* Așezînd o prismă la fereastră ca să refracte fasciculul de lumină care intra și pentru ca spectrul colorat alungit să cadă pe oglindă, am acoperit oglinda cu o hîrtie albă care avea la mijloc un orificiu pentru a lăsa să treacă prin el numai una din culori în timp ce restul era oprit de hîrtie. În acest fel am văzut numai inelele culorilor care cădeau pe oglindă. Dacă oglinda era luminată cu roșu, inelele erau complet roșii cu intervale întunecoase; dacă era luminată cu albastru, ele erau complet albastre și la fel cu celelalte culori. Cînd aceste inele erau de o singură culoare, pătratele diametrelor lor măsurate între părțile cele mai luminoase ale

orbitelor lor erau în progresia aritmetică a numerelor 0,1,2,3,4 iar pătratele diametrelor intervalelor întunecoase erau în progresia numerelor intermediare  $\frac{1}{2}$ ,  $1\frac{1}{2}$ ,  $2\frac{1}{2}$ ,  $3\frac{1}{2}$ . Dacă însă se schimba

culoarea, mărimea inelelor varia de asemenea. În roșu ele erau cele mai mari, în indigo și violet erau cele mai mici, iar în culorile intermediare, galben, verde și albastru, inelele erau de diferite mărimi intermediare corespunzând culorii respective, adică mai mari în galben decât în verde și mai mari în verde decât în albastru. De aici am constatat că, dacă oglinda era luminată cu lumină albă, roșul și galbenul din partea exterioară a inelelor erau produse de razele cele mai puțin refrangibile, iar albastrul și violetul de cele mai refrangibile, și că culorile fiecărui inel se întind printre culorile inelelor vecine de ambele părți, după cum s-a explicat în partea întâi și a doua a acestei cărți și prin amestec se diluau reciproc, încât nu se puteau distinge decât aproape de centru unde erau mai puțin amestecate. În această observație am putut vedea inelele mai distinct și în număr mai mare decât înainte, fiind în stare ca în lumina galbenă să număr vreo opt sau nouă, în afară de umbra slabă a celui de-al zecelea. Pentru a mă asigura în ce măsură se întind culorile mai multor inele unul într-altul, am măsurat diametrele inelului al doilea și al treilea și am găsit că, dacă ele erau formate la limita dintre roșu și portocaliu, ele sînt către aceleași diametre formate la limita dintre albastru și indigo în raportul  $\frac{9}{8}$  sau aproape de această valoare. Într-adevăr, era greu să determin exact această proporție. La fel cercurile produse succesiv de roșu, galben și verde difereau mai mult unul de altul decât cele produse succesiv de verde, albastru și indigo, căci cercul produs de violet era prea întunecat pentru a fi văzut. Pentru a continua calculul să presupunem deci că diferențele diametrelor cercurilor formate succesiv de roșu extrem, limita dintre roșu și portocaliu, portocaliu și galben, galben și verde, verde și albastru, albastru și indigo, indigo și violet, violet și extremul violet, sînt în aceleași proporții ca și diferențele lungimilor unei corzi care emite tonurile unei octave : sol, la, fa, sol, la, mi, fa, sol, deci ca numerele  $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{18}$ ,  $\frac{1}{12}$ ,  $\frac{1}{12}$ ,  $\frac{2}{27}$ ,  $\frac{1}{27}$ ,  $\frac{1}{18}$ .

Dacă diametrul cercului format de limita dintre roșu și portocaliu este  $9A$ , iar cea a cercului format de limita dintre albastru și indigo este  $8A$ , ca mai sus, raportul între diferența lor  $9A - 8A$  și diferența diametrelor cercurilor formate de roșul extrem și de limita dintre roșu și porto-

caliu va fi ca  $\frac{1}{18} + \frac{1}{12} + \frac{1}{12} + \frac{2}{27}$  raportate la  $\frac{1}{9}$ , adică în raportul  $\frac{8}{27} / \frac{1}{9}$ , sau  $8/3$ , iar diferența diametrelor cercurilor formate de violetul extrem și de limita dintre albastru și indigo vor fi ca raportul între  $\frac{1}{18} + \frac{1}{12} + \frac{1}{12} + \frac{2}{27}$  și  $\frac{1}{27} + \frac{1}{18}$ , adică în raportul  $\frac{8}{27} / \frac{5}{54}$ , sau ca  $16/5$ . În consecință, aceste diferențe vor fi  $\frac{3}{8}A$  și  $\frac{5}{16}A$ . Adunînd prima din aceste diferențe cu  $9A$  și scăzînd pe ultima din  $8A$ , veți obține diametrele cercurilor formate de razele

cele mai puțin și cele mai mult refrangibile, adică  $\frac{75}{8}A$  și  $61\frac{1}{2}\frac{1}{8}A$ .

Prin urmare, aceste diametre sînt unul către celălalt în raportul  $75/61\frac{1}{2}$  sau  $50/41$ , iar pătratele lor ca  $2\,500/1\,681$ , adică aproximativ în raportul  $3/2$ . Acest raport nu diferă mult de raportul diametrelor cercurilor formate de roșul extrem și violetul extrem din observația a 13-a a părții întîi a acestei cărți.

*Observația 6.* Avînd ochiul așezat acolo unde inelele apăreau cel mai clar pe carton, am văzut oglinda complet acoperită cu unde colorate (roșu, galben, verde, albastru), asemănătoare celor care apăreau în observațiile din cartea întîia a acestei cărți între lentilele obiectiv și la baloanele de săpun, dar cu mult mai mari. La fel cu acelea, în poziții diferite ale ochiului, ele erau de diferite mărimi, dilatîndu-se și contractîndu-se după cum îmi mișcam ochiul într-o parte sau într-alta. Ele aveau forma de arce concentrice ca și acelea; cînd țineam ochiul pe un cerc care avea ca diametru raza concavității oglinzii, centrul comun al acestor unde se afla pe aceeași linie dreaptă cu centrul concavității și cu deschiderea din fereastră. Undele erau cele mai distincte cînd ochiul meu era cel mai aproape de centrul concavității, adică cînd era la o distanță în jur de 5 picioare și 10 inch de oglindă. În alte poziții ale ochiului, centrul lor avea alte poziții. Aceste unde apăreau în lumina norilor care se propaga pînă la oglindă prin deschiderea din fereastră, iar cînd

Soarele strălucea prin acea deschidere pe oglindă, lumina ei era de culoarea inelului pe care cădea, însă strălucirea lui întuneca inelele formate de lumina norilor, afară de cazul când oglinda era îndepărtată la o distanță atât de mare de fereastră, încît lumina solară care cădea pe ea era întinsă și slabă. Variind poziția ochiului și mișcîndu-l mai aproape sau mai departe de fasciculul direct al luminii solare, culoarea luminii solare reflectate varia permanent pe oglindă, la fel ca în ochiul meu, și aceeași culoare pe care o vedeam pe oglindă îi apărea totdeauna și unui observator pe lîngă mine. Astfel am constatat că inelele colorate de pe carton erau formate de culorile reflectate sub diverse unghiuri de oglindă pe carton și că producerea lor nu depinde de limitarea luminii și umbrei.

*Observația 7.* Prin analogia care am găsit-o între toate aceste fenomene și cele care se observă la inelele colorate asemănătoare descrise în partea întîi a acestei cărți, mi se părea că aceste culori erau produse de plăcile groase de sticlă aproape la fel ca cele produse de plăcile foarte subțiri. Într-adevăr, am aflat din experiență că, dacă rădeam mercurul de pe dosul oglinzii, sticla singură cauza aceleași inele colorate, dar cu mult mai slabe decît înainte, prin urmare fenomenul nu depinde de mercur decît în măsura în care mercurul, mărind reflexia spatelui sticlei, face să crească luminozitatea inelelor colorate. Am constatat că o oglindă metalică fără sticlă, făcută de cîtiva ani în scopuri optice și lucrată foarte bine, nu producea nici unul din aceste inele; am înțeles deci că aceste inele nu se nasc de la o singură suprafață de oglindă, ci depind de cele două suprafețe ale unei plăci de sticlă din care era făcută oglinda și de grosimea sticlei dintre ele. Căci la fel ca în observațiile a 7-a și a 19-a din partea întîi a acestei cărți, o pătură subțire de aer, apă sau sticlă de aceeași grosime apărea de o anumită culoare cînd razele cădeau perpendicular pe ea, de alta cînd ele erau puțin oblice, de alta cînd erau mai oblice, de alta cînd erau și mai oblice și așa mai departe; tot așa aici, în observația a 6-a lumina, ieșind din sticlă sub mai multe înclinări, făcea ca sticla să apară în diverse culori și, propagîndu-se sub aceste înclinații pînă la carton, producea acolo inele de aceleași culori. Așa după cum cauza pentru care o placă subțire apărea în diverse culori pentru diferitele înclinări ale razelor era că razele de unul și același fel sînt reflectate de o placă subțire la o înclinare și transmise la alta, iar cele de alte feluri sînt transmise unde acestea sînt reflectate, și reflectate unde acestea sînt transmise, la fel cauza pentru care plăcile groase de sticlă, din care era făcută oglinda, apăreau în diverse culori la înclinații diferite

și cauza că la aceste înclinări se propagau culorile respective pînă la carton erau că razele de unul și același fel ieșeau din sticlă la o înclinație, iar la alta nu ieșeau, ci se reflectau înapoi spre mercurul de pe spatele sticlei, iar dacă înclinația era din ce în ce mai mare ieșeau și se reflectau alternativ în mai multe succesiuni și că la una și aceeași înclinație razele de un fel se reflectau, iar cele de alt fel se transmiteau. Aceasta rezultă din observația a 5-a din această parte a acestei cărți. Într-adevăr, în această observație, cînd oglinda era luminată de o culoare oarecare din prismă, acea lumină forma pe carton mai multe inele de aceeași culoare cu intervale întunecoase și deci la ieșirea ei din oglindă era alternativ transmisă și netransmisă de oglindă spre carton pentru mai multe succesiuni, potrivit diferitelor înclinații ale emergenței sale. Iar cînd lumina care cădea pe oglindă de la prismă varia, inelele căpătau culoarea care cădea pe ea și își variau mărimea o dată cu culoarea și deci lumina era acum alternativ transmisă și netransmisă de oglindă spre carton la alte înclinări decît anterior. De aceea mi s-a părut că aceste inele proveneau de la una și aceeași origine cu ale plăcilor subțiri, dar cu deosebirea că cele ale plăcilor subțiri sînt produse de reflexiile și de transmisiile alternative ale razelor la suprafața a doua a plăcii după o trecere prin ea ; aici însă razele merg de două ori prin placă înainte ca ele să fie alternativ reflectate și transmise. Mai întîi ele trec prin ea de la prima suprafață de mercur și apoi se întorc prin ea de la mercur la prima suprafață și acolo sînt fie transmise spre carton, fie reflectate înapoi la mercur, după cum sînt în accesul lor de ușoară reflexie sau transmisie cînd ajung la acea suprafață. Căci intervalele acceselor razelor care cad perpendicular pe oglindă și sînt reflectate înapoi pe aceleași perpendiculare, din cauza egalității acestor unghiuri și linii, au aceeași lungime și număr în interiorul sticlei după reflexie ca și mai înainte, conform propoziției a 19-a a părții a II-a a acestei cărți. Prin urmare, fiindcă toate razele care intră prin prima suprafață sînt la intrarea lor în accese de ușoară transmisie, iar toate din ele care sînt reflectate pe a doua suprafață sînt în accese de ușoară reflexie, toate acestea trebuie să se afle la întoarcerea lor la prima suprafață în accesele de ușoară transmisie și, în consecință, să iasă din sticlă spre carton și să formeze pe el pata luminoasă din centrul inelelor. Acest raționament are loc pentru toate felurile de raze, deși toate trebuie să iasă amestecate spre acea pată și prin amestecul lor s-o facă albă. Dar, potrivit propozițiilor a XV-a și a XX-a intervalele acceselor acelor raze care se reflectă

mai oblic decît intră trebuie să fie mai mari după reflexie decît înainte. De aceea se poate întîmpla ca razele la întoarcerea lor la prima suprafață, la anumite înclinații, să fie în accese de ușoară reflexie și să se întoarcă înapoi la mercur, iar la alte înclinații intermediare să fie din nou în accese de ușoară transmisie și astfel să ajungă la carton și să dea naștere pe el la inele colorate în jurul petei albe. Deoarece la înclinații egale intervalele la accese sînt mai mari și mai puține în razele mai puțin refrangibile, dar mai mici și mai numeroase în cele mai refrangibile, urmează că razele cele mai puțin refrangibile vor forma la înclinări egale mai puține inele decît cele refrangibile și că inelele produse de acele raze vor fi mai mari decît inelele formate în același număr de acestea, adică inelele roșii vor fi mai mari decît cele galbene, cele galbene decît cele verzi, cele verzi decît cele albastre, iar cele albastre decît cele violete, după cum s-a arătat de fapt în observația a 5-a. În consecință, primul inel al tuturor culorilor care înconjură pata albă de lumină va fi roșu în exterior și violet în interior, iar la mijloc galben, verde și albastru, după cum s-a arătat în observația a 2-a, iar aceste culori în inelul al doilea și în cele ce urmează vor fi mai întinse, pînă ce se răspîndesc una într-alta și se confundă reciproc prin amestec.

În general, acestea par a fi cauzele acestor inele; lucrul acesta m-a făcut să observ grosimea sticlelor și să consider dacă dimensiunile și proporțiile inelelor pot fi într-adevăr deduse din ea prin calcul.

*Observația 8.* Am măsurat deci grosimea acestei plăci de sticlă concav-convexă și am aflat că ea este pretutindeni exact de  $\frac{1}{4}$  inch. Potrivit observației a 6-a din partea I a acestei cărți o pătură subțire de aer transmite lumina cea mai strălucitoare a primului inel, adică

galbenul cel mai viu, dacă grosimea ei este de  $\frac{1}{89\,000}$  inch, iar potrivit

observației a 10-a a aceleiași părți o placă subțire de sticlă transmite aceeași lumină a aceluiasi inel dacă grosimea ei este mai mică decît aceasta în raportul sinusului de refracție către sinusul de incidență,

adică dacă grosimea ei este de  $\frac{11}{1\,513\,000}$  sau  $\frac{1}{137\,545}$  inch, presupu-

nînd că sinusurile sînt în raportul 11/17. Dacă grosimea ei se dublează ea transmite aceeași lumină strălucitoare a inelului al doilea; dacă se triplează, transmite pe a celui de-al treilea și așa mai departe, lumina galbenă vie în toate aceste cazuri fiind în accesele sale de transmisie. Prin urmare, dacă grosimea ei se înmulțește cu 34 386, așa ca să devină de  $\frac{1}{4}$  inch, ea transmite aceeași lumină vie a inelului

al 34 386-lea. Să presupunem că aceasta este lumina galbenă vie transmisă perpendicular de fața reflectatoare convexă a sticlei prin fața concavă spre pata luminoasă din centrul inelelor colorate de pe carton, atunci potrivit regulii din observațiile a 7-a și a 19-a din partea întâi a acestei cărți și potrivit propozițiilor a 15-a și a 20-a din partea a treia a acestei cărți, dacă razele sînt înclinate față de sticlă, grosimea sticlei cerută să transmită aceeași lumină strălucitoare a aceluiași inel la orice înclinație va fi față de această grosime de  $1/4$  inch, ca secanta unui anumit unghi către rază, și anume a unghiului al cărui sinus are valoarea egală cu 106 medii aritmetice între sinusurile de incidență și de refracție, socotindu-se sinusul de incidență cînd refracția se face dintr-o placă a unui corp într-un mediu ce-l înconjură, adică în acest caz din sticlă în aer. Dacă grosimea sticlei crește treptat astfel ca să aibă față de prima sa grosime (adică cea de  $1/4$  inch) raportul care există între 34 386 (numărul acceselor razelor perpendiculare în trecerea lor prin sticlă spre pata albă din centrul inelelor) către 34 385, 34 384, 34 383 și 34 382 (numerele acceselor razelor oblice în trecerea lor prin sticlă spre întiul, al doilea, al treilea și al patrulea inel colorat) și dacă prima grosime se divide în 100 000 000 părți egale, grosimile mărite vor fi 100 002 908, 100 005 816, 100 008 725 și 100 011 633, iar unghiurile ale căror secante sînt aceste grosimi vor fi  $26'13''$ ,  $37'5''$ ,  $45'6''$  și  $52'26''$ , raza fiind 100 000 000, iar sinusurile acestor unghiuri sînt 762, 1 079, 1 321 și 1 525 și sinusurile proporționale de refracție 1 172, 1 659, 2 031 și 2 345, raza fiind 100 000. Într-adevăr, fiindcă sinusurile de incidență din sticlă în aer sînt față de sinusurile de refracție în raportul  $11/17$ , iar față de secantele menționate mai sus ca 11 față de prima

din cele 106 medii aritmetice între 11 și 17, adică în raportul  $11/11 \frac{6}{106}$ , aceste secante vor fi față de sinusurile de refracție în raportul  $11 \frac{6}{106} / 17$  și prin această analogie vor da sinusurile respective. În

acest fel, dacă înclinările razelor față de suprafața concavă a sticlei sînt astfel încît sinusurile refracțiilor lor la ieșirea din sticlă în aer prin acea suprafață să fie 1 172, 1 659, 2 031, 2 345, lumina strălucitoare a inelului al 34 386-lea va ieși din sticlă la grosimea care este în același raport față de  $1/4$  inch, respectiv ca 34 386 raportat la 34 385, 34 384, 34 383, 34 382. Prin urmare, dacă grosimea sticlei în toate aceste cazuri e de  $1/4$  inch (după cum era la sticla din care era făcută oglinda), lumina strălucitoare a celui de al 34 386-lea inel

va ieși acolo unde sinusul de refracție este 1172, iar lumina inelului al 34 384-lea, al 34 383-lea și al 34 382-lea acolo unde sinusul este respectiv 1 659, 2 031 și 2 345. Sub aceste unghiuri de refracție, lumina inelelor se va propaga de la oglindă spre carton și acolo va forma inele în jurul petei albe centrale rotunde de lumină care am spus că era lumina inelului al 34 386-lea. Semidiametrele acestor inele vor subîntinde unghiurile de refracție făcute la suprafața concavă a oglinzii și, în consecință, diametrele lor vor fi față de distanța de la carton la oglindă în același raport ca sinusurile de refracție dublate către rază, adică precum sînt 1 172, 1 659, 2 031 și 2 345 dublate față de 100 000. Așadar, dacă distanța de la carton la suprafața concavă a oglinzii e de șase picioare (cum era în observația a 3-a), diametrele inelelor luminii galbene strălucitoare de pe carton vor fi 1,688, 2,389, 2,925, 3,375 inch, căci aceste diametre sînt în același raport față de șase picioare, precum și sinusurile amintite mai sus dublate către rază. Acum diametrele inelelor colorate luminoase găsite astfel prin calcul sînt exact aceleași cu cele aflate în observația a 3-a prin măsurători, adică cu  $1\frac{11}{16}$ ,  $2\frac{3}{8}$ ,  $2\frac{17}{12}$  și  $3\frac{3}{8}$  inch, și deci

teoria care deduce aceste inele din grosimea plăcii de sticlă din care era făcută oglinda și din înclinația razelor emergente este în acord cu observația. În acest calcul am egalat diametrele inelelor luminoase formate din lumina de toate culorile cu diametrele inelelor făcute de galbenul strălucitor. Căci acest galben formează partea cea mai luminoasă a inelelor de toate culorile. Dacă doriți să obțineți diametrele inelelor formate de lumina oricărei alte culori simple, le puteți afla exact admitînd că ele se află față de diametrele inelelor galbenului strălucitor în raportul rădăcinii pătrate a intervalelor acceselor razelor de acele culori cînd sînt egal înclinate față de suprafața de refracție sau de reflexie care provoacă acele accese, adică punînd diametrele inelelor formate de raze la extremitățile și limitele celor șapte culori, roșu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo, violet, proporționale cu rădăcinile cubice ale numerelor  $1, \frac{8}{9}, \frac{5}{6}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{9}{16}, \frac{1}{2}$ , care reprezintă lungimile unei corzi

ce emite notele unei octave, deoarece prin acest mijloc diametrele inelelor acestor culori se vor afla aproape exact în același raport unul cu altul pe care trebuie să-l aibă potrivit observației a 5-a.

În acest chip am rămas satisfăcut că aceste inele erau de același fel și aveau aceeași origine cu cele ale plăcilor subțiri și, în con-



secință, că accesele sau dispozițiile alternative ale razelor de a fi reflectate și transmise s-au propagat la distanțe mari de la fiecare suprafață de reflexie și de refracție. Totuși, pentru a înlătura orice îndoială, am adăugat observația următoare.

*Observația 9.* Dacă aceste inele depind, după cum s-a arătat, de grosimea plăcii de sticlă, diametrele lor la distanțe egale de mai multe oglinzi confecționate din plăci de sticlă concav-convexe șlefuite din aceeași sferă trebuie să fie invers proporționale cu rădăcinile pătrate ale grosimilor plăcilor de sticlă. Dacă această proporție se găsește că este adevărată prin experiență, ea va duce la demonstrația că aceste inele (la fel ca cele formate la plăcile subțiri) depind de grosimea sticlei. Mi-am procurat de aceea o altă placă de sticlă concav-convexă șlefuită pe ambele fețe după aceeași sferă ca și

placa precedentă. Grosimea ei era de  $\frac{5}{62}$  inch, iar diametrele primelor trei inele luminoase, măsurate între părțile cele mai strălucitoare ale orbitelor lor la distanța de șase picioare de la sticlă erau de 3, 4  $\frac{1}{6}$ , 5  $\frac{1}{8}$  inch. Grosimea celeilalte sticle, fiind  $\frac{1}{4}$  inch, era față de grosimea acestei sticle în raportul  $\frac{1}{4}$  la  $\frac{5}{62}$ , adică raportul  $\frac{31}{10}$  sau  $\frac{310\,000\,000}{100\,000\,000}$ , iar rădăcinile acestor numere sînt 17 607 și 10 000. Diametrele inelelor luminoase formate în

această observație de sticla cea mai subțire, anume 3, 4  $\frac{1}{6}$ , 5  $\frac{1}{8}$ , sînt față de diametrele aceluiași inele formate în observația a 3-a de sticla mai groasă în raporturile 1  $\frac{11}{16}$ , 2  $\frac{3}{8}$ , 2  $\frac{11}{12}$ , cu alte cuvinte

în același raport în care se află prima dintre aceste rădăcini către a doua, adică diametrele inelelor sînt invers proporționale cu rădăcina pătrată a grosimilor plăcilor de sticlă.

Așadar, în plăcile de sticlă, care sînt la fel de concave pe o față la fel de convexe pe cealaltă și la fel amalgamate pe fețele convexe și care nu diferă decît prin grosimile lor, diametrele inelelor sînt invers proporționale cu rădăcinile pătrate ale grosimilor plăcilor. Aceasta arată în mod suficient că inelele depind de ambele suprafețe ale sticlelor. Ele depind de suprafața convexă din cauză că sînt mai luminoase cînd acea suprafață este amalgamată decît atunci cînd nu este. Depind de asemenea și de suprafața concavă, pentru că fără această suprafață oglinda nu produce nici un inel. Ele depind de ambele suprafețe și de distanța dintre ele, deoarece mărimea inelelor variază prin schimbarea acestei distanțe. Această

dependență este de același fel cu cea pe care o au culorile plăcilor subțiri în raport cu distanța suprafeței acelor plăci, fiindcă mărimea inelelor, raportul dintre ele și variația mărimii lor provenită din variația grosimii sticlei și ordinea culorilor lor sînt astfel încît trebuie să rezulte din propozițiile de la sfîrșitul părții a treia a acestei cărți, derivate din fenomenele culorilor plăcilor subțiri, expuse în partea întîi.

Mai sînt și alte fenomene ale acestor inele colorate care rezultă din aceleași propoziții și deci confirmă atît adevărul acestor propoziții, cît și analogia găsită dintre aceste inele și inelele colorate formate de plăci foarte subțiri. Voi prezenta cîteva dintre ele.

*Observația 10.* Cînd fasciculul de lumină solară era reflectat de oglindă nu direct spre deschiderea din fereastră, ci spre un loc puțin depărtat de ea, centrul comun al acelei pete și al tuturor inelelor colorate cădea la jumătatea drumului dintre fasciculul de lumină incidentă și fasciculul de lumină reflectată și, în consecință, în centrul concavității sferice a oglinzii ori de cîte ori cartonul pe care cădeau inelele colorate era așezat în acel centru. Iar cînd fasciculul luminii reflectate se depărta tot mai mult de fasciculul de lumină incidentă și de centrul comun al inelelor colorate situat între ele prin înclinarea oglinzii, acele inele deveneau din ce în ce mai mari și la fel pata albă rotundă; din centrul lor comun se iveau succesiv noi inele colorate, iar pata albă devenea un inel alb care le înconjura și fasciculele incidente și reflectate cădeau totdeauna pe părțile opuse ale acestui inel alb, luminîndu-i perimetrul la fel ca două parhelii de părțile opuse ale unui curcubeu. În acest fel, diametrul acestui inel, măsurat de la mijlocul luminii sale de o parte pînă la mijlocul luminii sale de cealaltă parte, era totdeauna egal cu distanța dintre mijlocul fasciculului incident de lumină și mijlocul fasciculului reflectat, măsurată pe cartonul unde apăreau inelele. Iar razele care formau acest inel se reflectau pe oglindă sub unghiuri egale cu unghiurile lor de incidență și, în consecință, cu unghiurile lor de refracție la intrarea lor în sticlă, dar unghiurile lor de reflexie nu erau în același plan cu unghiurile lor de incidență.

*Observația 11.* Culorile noilor inele erau în ordine inversă cu ale celor precedente și se formau în modul următor. Pata albă rotundă de lumină din mijlocul inelelor rămîne albă spre centru pînă ce distanța dintre fasciculele incidente și reflectate pe carton era de vreo  $7/8$  inch și apoi mijlocul petei începea să se întunece. Iar cînd acea distanță era de aproape  $1 \frac{5}{16}$  inch, pata albă se schimba într-un inel ce înconjura o pată întunecoasă rotundă care la mijloc înclina

spre violet și indigo. Inelele luminoase care o înconjurau erau acum egale cu cele întunecoase care în primele patru observații le înconjurau, adică pata albă a devenit un inel alb egal cu primul din inelele întunecoase, iar primul din inelele luminoase a devenit egal cu al doilea din cele întunecoase și al doilea din cele luminoase egal cu al treilea din cele întunecoase și așa mai departe. Diametrele inelelor luminoase erau acum de  $1 \frac{3}{16}$ ,  $2 \frac{1}{16}$ ,  $2 \frac{2}{3}$ ,  $3 \frac{3}{20}$  inch.

Cînd distanța dintre fasciculele de lumină incidente și reflectate devenea ceva mai mare, din mijlocul petei întunecoase apărea după indigo un albastru, apoi din acel albastru un verde pal și curînd după aceea un galben și un roșu. Iar cînd culoarea centrului era mai strălucitoare, fiind între galben și roșu, inelele luminoase erau egale cu inelele care în primele patru observații le înconjurau imediat, adică pata luminoasă din mijlocul acelor inele devenise acum un inel alb egal cu primul din inelele luminoase, iar primul din cele luminoase devenise acum egal cu al doilea dintre ele și așa mai departe. Diametrele inelului alb și al celorlalte inele luminoase care-l înconjurau erau acum  $1 \frac{11}{16}$ ,  $2 \frac{3}{8}$ ,  $2 \frac{11}{12}$ ,  $3 \frac{3}{8}$  etc. sau aveau valori apropiate.

Cînd distanța celor două fascicule de lumină pe carton creștea ceva mai mult, din mijloc ieșeau pe rînd după roșu un purpuriu, un albastru, un verde, un galben și un roșu înclinînd mult spre purpuriu, iar cînd culoarea era mai vie, fiind între galben și roșu, culorile precedente indigo, albastru, verde, galben și roșu formau un curcubeu sau un inel colorat egal cu primul dintre inelele luminoase care apăreau în primele patru observații, iar inelul alb care acum era al doilea din inelele luminoase devenea egal cu al doilea din ele, și primul dintre ele care acum era al treilea inel devenea egal cu al treilea din ele și așa mai departe. Diametrele lor erau  $1 \frac{11}{16}$ ,  $2 \frac{3}{8}$ ,  $2 \frac{11}{12}$ ,  $3 \frac{3}{8}$  inch, distanța dintre cele două fascicule luminoase, iar diametrul inelului alb era de  $2 \frac{3}{8}$  inch.

Cînd aceste două fascicule deveneau mai distanțate unul față de altul, atunci ieșeau din mijlocul roșului purpuriu, mai întîi o pată rotundă mai întunecoasă, apoi din mijlocul acelei pete una mai luminoasă. Culorile precedente (purpuriu, albastru, verde, galben și roșu purpuriu) formau un inel egal cu inelul luminos menționat în primele patru observații, iar inelele din jurul acestuia deveneau

respectiv egale cu inelele care îl înconjurau pe primul, distanța dintre cele două fascicule luminoase și diametrul inelului alb (care acum devenise inelul al treilea) fiind de vreo 3 inch.

Culorile inelelor din mijloc începeau acum să slăbească mai mult și, dacă distanța dintre cele două fascicule creștea cu o jumătate de inch sau chiar cu un inch, ele dispăreau, pe cînd inelul alb împreună cu unul sau două inele alăturate din ambele părți continuau să fie vizibile. Dacă însă distanța dintre cele două fascicule de lumină creștea și mai mult, acestea de asemenea dispăreau, deoarece lumina care, venind din diferite părți ale deschiderii din fereastră, cădea pe oglindă sub diverse unghiuri de incidență producea inele de diferite mărimi, care slăbeau și se anihilau reciproc, după cum am constatat interceptînd anumite părți din acea lumină. Într-adevăr, dacă interceptam partea care era mai aproape de axa oglinzii inelele deveneau mai mici, iar dacă interceptam pe cele mai depărtate de axă deveneau mai mari.

*Observația 12.* Cînd culorile prismeî cădeau succesiv pe oglindă, inelul care în ultimele două observații era alb, era în acest caz de aceeași mărime în toate culorile, însă inelele exterioare acestuia erau mai mari în verde decît în albastru și încă mai mari în galben, iar cele mai mari în roșu. Din contra, inelele din interiorul cercului alb erau mai mici în verde decît în albastru, încă și mai mici în galben și cele mai mici în roșu. Unghiurile de reflexie ale razelor care alcătuiau aceste inele fiind egale cu unghiurile lor de incidență, accesele fiecărei raze reflectate în interiorul sticlei sînt egale în lungime și număr cu accesele aceleiași raze în sticlă înaintea incidenței sale pe suprafața reflectatoare. În consecință, deoarece toate felurile de raze la intrarea lor în sticlă erau într-un acces de transmisie, ele erau într-un acces de transmisie și la întoarcerea lor la aceeași suprafață după reflexie, prin urmare erau transmise și mergeau la inelul alb de pe carton. Aceasta e cauza pentru care acel inel era de aceeași mărime în toate culorile și pentru care într-un amestec al tuturor apărea alb. Dar, în razele care se reflectă sub alte unghiuri, intervalele acceselor razelor mai puțin refrangibile, fiind cele mai mari, formează inelele, a căror culoare în înaintarea lor de la inelul alb, fie în exterior, fie în interior crește sau descrește în măsură mai mare, astfel că inelele de această culoare sînt în exterior cele mai mari, iar în interior cele mai mici. Aceasta este cauza pentru care în ultima observație, cînd oglinda era luminată cu lumină albă, inelele exterioare formate din toate culorile apăreau roșii înăuntru și albastru în afară, iar cele interioare albastre în afară și roșii înăuntru.

Acestea sînt fenomenele plăcilor de sticlă groase convex-concave, care au peste tot aceeași grosime. Apar însă și alte fenomene, cînd aceste plăci sînt cu ceva mai groase într-o parte decît în alta, și altele cînd plăcile sînt mai mult sau mai puțin concave decît convexe sau planconvexe ori dublu convexe, căci în toate aceste cazuri plăcile produc inele colorate, dar în moduri diferite, și toate, după cum am observat pînă acum, rezultă din propozițiile de la sfîrșitul părții a treia a acestei cărți și astfel confirmă adevărul acelor propoziții. Dar fenomenele sînt prea variate și calculele prin care ele se deduc din acele propoziții prea complicate pentru a fi descrise aici. Eu mă mulțumesc de a fi expus acest gen de fenomene și a le descoperi cauza și prin descoperirea ei să confirm propozițiile din partea a treia a acestei cărți.

*Observația 13.* După cum lumina reflectată de o lentilă amalgamată pe dos formează inelele colorate descrise mai sus, tot așa trebuie să producă inele asemănătoare colorate la trecerea printr-o picătură de apă. La prima reflexie a razei în interiorul picăturii trebuie să fie transmise anumite culori ca și în cazul unei lentile, iar altele să se reflecte înapoi la ochi. De exemplu diametrul unei picături mici sau a unei globule de apă este cam de a 500-a parte dintr-un inch, astfel încît o rază roșie în trecerea ei prin mijlocul acestei globule are 250 accese de ușoară transmisie în interiorul acestei globule, toate razele producătoare de roșu care la o anumită distanță înconjură această rază mijlocie de jur împrejur au 249 de accese în interiorul globulei și toate razele asemănătoare din jurul ei la o anumită distanță mai mare au 248 de accese, iar toate razele de același fel la o anumită distanță și mai mare au 247 de accese și așa mai departe. Aceste cercuri concentrice de raze după transmisia lor, căzînd pe o hîrtie albă, vor forma pe hîrtie cercuri concentrice roșii, presupunînd că lumina care trece printr-o singură globulă este destul de intensă pentru a putea fi observată. La fel, razele de alte culori vor forma inele de alte culori. Să presupunem acum că într-o zi frumoasă Soarele strălucește printr-un nor subțire de astfel de globule de apă sau de grindină și că toate globulele au aceeași mărime, iar Soarele văzut prin acest nor va apărea înconjurat de inele concentrice colorate și diametrul primului inel roșu va fi de  $7 \frac{1}{4}$  grade, al doilea de  $10 \frac{1}{4}$

grade, al treilea de 12 grade 33 de minute. După cum globulele de apă sînt mai mari sau mai mici, inelele vor fi mai mici sau mai mari. Aceasta este teoria, iar experiența o confirmă într-adevăr. În iunie

1692 am văzut prin reflexie într-un vas cu apă stătătoare trei halouri, coroane sau inele colorate în jurul Soarelui, asemănătoare cu trei mici curcubee concentrice Soarelui. Culorile primei coroane sau ale coroanei interioare erau cel mai aproape de Soare, roșul în afară și albul în mijloc între albastru și roșu. Culorile coroanei a doua erau purpuriul și albastrul în interior, roșul pal în exterior, iar albastrul în mijloc. Cele ale coroanei a treia erau albastrul-pal în interior și roșul-pal în exterior; aceste culori se înconjurau imediat una pe alta, astfel încât culorile lor de la Soare în afară erau aranjate în următoarea ordine continuă : albastru, alb, roșu ; purpuriu, albastru, verde, galben-pal, roșu ; albastru-pal, roșu-pal. Diametrul coroanei a doua, măsurat de la mijlocul galbenului și roșului de la o margine a Soarelui către mijlocul aceleiași culori din cealaltă margine, era de  $9 \frac{1}{3}$  grade sau o valoare apropiată. Nu am avut timp să măso-

diametrele primei și a celei de-a treia coroane dar diametrul celei dinții părea să fie de cinci sau șase grade, iar a celei de-a treia de vreo douăsprezece. Coroane asemănătoare apar uneori în jurul Lunii. La începutul anului 1664, în noaptea de 19 februarie, am observat în jurul ei două coroane de acest fel. Diametrul primei, sau celei mai din interior, era de vreo trei grade, iar al celei de-a doua de aproximativ cinci grade și jumătate. Imediat în jurul Lunii era un cerc alb și îndată după el apărea coroana interioară, care înăuntru era de un verde-albăstrui imediat lângă alb, iar în afară de un galben și roșu ; în jurul acestor culori urma imediat albastru și verde pe partea dinăuntru a coroanei exterioare și roșu pe cea din afară. În același timp apărea un halou la o distanță de vreo  $22^{\circ} 35'$  de centrul Lunii. El era eliptic și diametrul său cel mare era perpendicular pe orizont, partea de jos fiind cea mai depărtată de Lună. Am auzit spunându-se că Luna are câteodată trei sau mai multe coroane concentrice colorate, înconjurându-se una pe cealaltă strâns în jurul Lunii. Cu cât sînt mai egale între ele globulele de apă sau de gheață, cu atît vor apărea mai multe coroane colorate și culorile lor vor fi mai strălucitoare. Haloul care apare la distanța de  $22 \frac{1}{2}$  grade de la Lună este

de altă natură. Din faptul că el era oval și mai depărtat de Lună în partea de jos decît în cea de sus, eu deduc că el era produs prin refracția într-un fel de grindină sau de zăpadă ce plutea orizontal în aer, unghiul de refracție fiind de aproximativ 58 sau 60 de grade.

# Cartea a treia

## a

# O P T I C I I

### PARTEA I

*Observații privitoare la inflexiunile razelor de lumină și culorile produse în acest fel.*

Grimaldi ne-a informat că, dacă un fascicul de lumină solară pătrunde într-o cameră întunecoasă printr-o deschidere foarte mică, umbrele corpurilor expuse în această lumină sînt mai mari decît ar trebui să fie dacă razele ar trece pe lîngă corpuri în linii drepte și că aceste umbre sînt mărginite de trei chenare, benzi sau fîșii paralele de lumină colorată. Dacă însă deschiderea se lărgeste, chenarele se dilată și se amestecă între ele, astfel încît nu mai pot fi distinse. Unii au atribuit aceste umbre întinse și chenare refracției obișnuite a aerului, fără a examina suficient problema. Căci, atît cît am putut observa, condițiile în care apare fenomenul sînt următoarele.

*Observația 1.* Într-o placă de plumb am făcut cu ajutorul unui cui subțire un mic orificiu, a cărui lărgime era de  $\frac{1}{42}$  inch. Într-adevăr,

21 de astfel de cuie puse unul lîngă altul ocupau lărgimea de o jumătate de inch. Prin acest orificiu am lăsat să intre în camera mea întunecată un fascicul de lumină solară și am găsit că umbrele firelor de păr, ale sîrmelor, acelor, paielor și ale altor obiecte asemănătoare subțiri plasate în fasciculul de lumină deveneau considerabil mai late decît ar fi trebuit să fie dacă razele de lumină ar fi trecut pe lîngă aceste corpuri în linie dreaptă. În particular, un fir de păr din capul unui om, a cărui grosime nu era decît  $\frac{1}{280}$  inch, fiind

ținut în această lumină la o distanță de vreo 12 picioare de orificiu, arunca o umbră care la o distanță de patru inch de fir avea o lățime

de  $\frac{1}{60}$  inch, adică era mai bine de patru ori mai lată decît firul, iar la o distanță de două picioare de fir avea o lățime de vreo  $\frac{1}{28}$  inch, adică era de zece ori mai lată decît firul, și la o distanță de zece picioare avea lățime de  $\frac{1}{8}$  inch, adică era de 35 de ori mai lată.

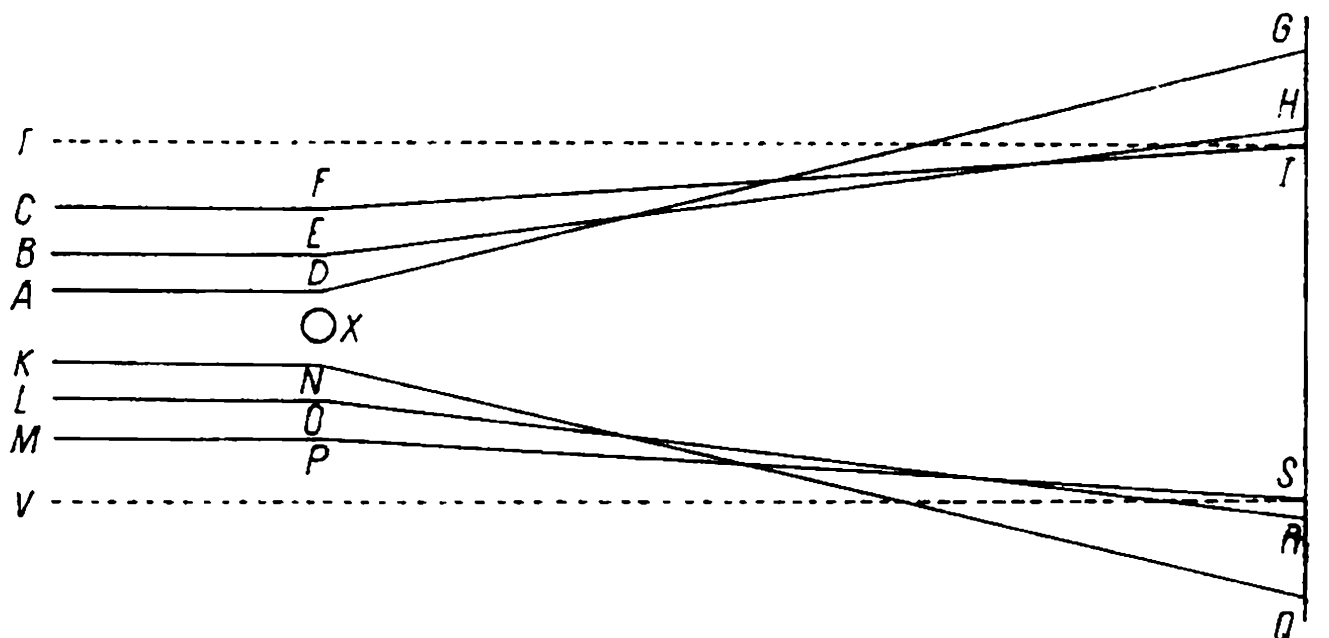


Fig. 1

Nu este esențial ca firul de păr să fie înconjurat de aer sau de orice altă substanță transparentă. Udînd o placă de sticlă șlefuită și așezînd firul de păr în apa de pe sticlă și apoi punînd pe ea o altă placă de sticlă în așa fel ca apa să umple spațiul dintre sticle, le-am ținut în fasciculul de lumină de mai înainte, astfel încît lumina să poată trece perpendicular prin ele, și umbra firului la aceeași distanță era tot atît de mare ca mai înainte. Umbrele zgîrieturilor făcute pe plăcile de sticlă erau de asemenea cu mult mai late decît trebuiau să fie și vinele de pe plăcile de sticlă de asemenea aruncau umbre la fel de late. În consecință, lărgimea mare a acestor umbre provine din alte cauze decît refracția aerului.

Să considerăm că cercul  $X$  (fig. 1) se află la mijlocul firului de păr, iar  $ADG$ ,  $BEH$ ,  $CFI$  sînt trei raze ce trec de o parte a firului de păr la diferite distanțe,  $KNQ$ ,  $LOR$ ,  $MPS$  alte trei raze ce trec de cealaltă parte a firului la distanțe egale,  $D$ ,  $E$ ,  $F$  și  $N$ ,  $O$ ,  $P$  trei



locuri în care razele se îndoaie în trecerea lor pe lângă fir,  $G$ ,  $H$ ,  $I$  și  $Q$ ,  $R$ ,  $S$  locurile unde razele cad pe hîrtia  $GQ$ ,  $IS$  lătimea umbrei firului de păr aruncată pe hîrtie, iar  $TI$ ,  $VS$  două raze ce trec prin punctele  $I$  și  $S$  fără a se îndoi atunci cînd firul este îndepărtat. Este evident că toată lumina cuprinsă între razele  $TI$  și  $VS$  se îndoaie în trecerea ei pe lângă firul de păr și se abate de la umbra  $IS$ , căci, dacă nu s-ar îndoi fiecare parte a acestei lumini, atunci ea ar cădea pe hîrtie în interiorul umbrei și acolo ar lumina hîrtia, ceea ce e contrar experienței. Din cauză că, în momentul cînd hîrtia este la o mare distanță de firul de păr, umbra este lată și, prin urmare, razele  $TI$  și  $VS$  sînt la o mare depărtare una de cealaltă, urmează că firul acționează la o mare distanță asupra razelor de lumină la trecerea lor pe lângă el. Acțiunea este însă mai intensă asupra razelor care trec la distanțe mai mici și devine din ce în ce mai slabă pentru razele care trec la distanțe din ce în ce mai mari, așa cum s-a reprezentat pe figură. Într-adevăr, de aici rezultă că umbra firului de păr este cu mult mai largă în raport cu distanța hîrtiei de la fir, cînd hîrtia este mai aproape de fir decît cînd ea se află la o distanță mai mare de el.

*Observația 2.* Umbra tuturor corpurilor (metal, piatră, sticlă, lemn, corn, gheață etc.) era mărginită de trei chenare sau benzi paralele de lumină colorată, dintre care aceea care atinge umbra era cea mai lată și mai luminoasă, iar cea mai îndepărtată de ea era cea mai îngustă și mai slabă și abia se putea vedea. Culorile se distingeau cu greu și numai dacă lumina cădea foarte oblic pe o hîrtie lucioasă sau pe vreun alt corp alb lucios, încît să le facă să apară mai largi decît ar fi părut altfel. Atunci culorile se vedeau clar în ordinea următoare: primul chenar sau cel mai dinăuntru era violet și albastru-închis imediat lângă umbră, apoi albastru clar, verde și galben la mijloc și roșu în exterior. Chenarul al doilea era aproape în contact cu primul, iar al treilea cu al doilea și amîndouă erau albastre în interior, galbene și roșii în exterior, dar culorile lor erau foarte slabe, în special ale celui de-al treilea. Prin urmare, culorile erau în ordinea începînd de la umbră: violet, indigo, albastru-pal, verde, galben, roșu; albastru, galben, roșu; albastru-pal, galben-pal și roșu. Umbrele proiectate de zgîrieturi și bulele din plăcile netede de sticlă erau mărginite de chenare asemănătoare de lumină colorată. Dacă plăcile de oglindă tăiate oblic la margini cu un diamant sînt ținute în același fascicul luminos, lumina care trece prin planele paralele ale sticlei va fi mărginită de chenare colorate asemănătoare, acolo unde aceste plane întîlnesc tăieturile de la margine și în felul acesta vor apărea

uneori patru sau cinci chenare colorate. Fie  $AB$ ,  $CD$  (fig. 2) planele paralele ale unei oglinzi, iar  $BD$  planul tăieturii care face un unghi obtuz în  $B$  cu planul  $AB$ . Dacă toată lumina dintre razele  $ENI$  și  $FBM$  trece direct prin planele paralele ale sticlei și cade pe hîrtie între  $I$  și  $M$ , atunci întreaga lumină dintre razele  $GO$  și  $HD$  se va refracta prin planul tăieturii  $BD$  de la margine și va cădea pe hîrtie

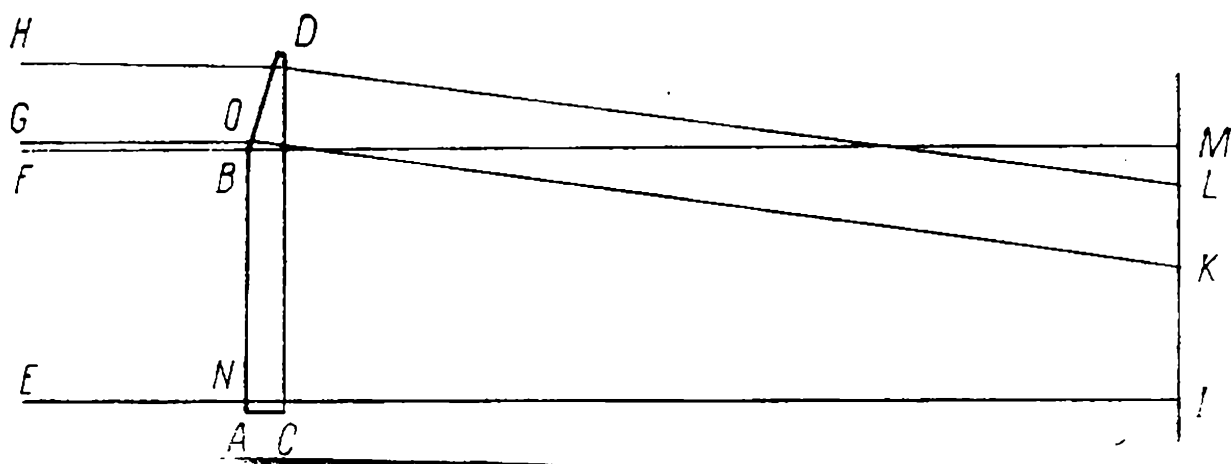


Fig. 2

între  $K$  și  $L$ , iar lumina care trece direct prin planele paralele ale sticlei și cade pe hîrtie între  $I$  și  $N$ , va fi mărginită în  $M$  de trei sau de mai multe chenare.

Astfel, privind Soarele printr-o pană sau panglică neagră ținută foarte aproape de ochi, vor apărea mai multe curcubee, umbrele pe care le proiectează fibrele sau firele pe *tunica retina* fiind mărginită de chenare colorate asemănătoare.

*Observația 3.* Am măsurat lățimea umbrei și a chenarelor cît am putut de precis pînă la fracțiuni de inch, după cum se vede în tabela de mai jos, în momentul cînd firul de păr era la 12 picioare distanță de orificiu, iar umbra lui cădea oblic pe o scală plată albă gradată în inch și fracțiuni de inch plasată la o jumătate de picior în spatele lui și de asemenea cînd umbra cădea perpendicular pe aceeași scală situată la 9 picioare în spatele lui.

Am făcut aceste măsurători lăsînd să cadă umbra firului de păr, la o distanță de o jumătate de picior, atît de oblic pe scală încît să apară de 12 ori mai largă decît atunci cînd cădea perpendicular pe ea la aceeași distanță și am introdus în această tabelă a douăsprezecea parte a măsurilor luate.

*Observația 4.* Cînd umbra și chenarele cădeau oblic pe un corp alb neted și acesta se îndepărta tot mai mult de firul de păr, primul

La distanța de	jumătate de picior	Nouă picioare
Lățimea umbrei	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{9}$
Lățimea spațiului dintre mijlocul celei mai intense lumini a chenarelor din interior și ambele laturi ale umbrei	$\frac{1}{38}$ sau $\frac{1}{39}$	$\frac{7}{50}$
Lățimea spațiului dintre mijlocul celei mai intense lumini a chenarelor mijlocii și cele două laturi ale umbrei	$\frac{1}{23\frac{1}{2}}$	$\frac{4}{17}$
Lățimea spațiului dintre mijlocul celei mai intense lumini a chenarelor din exterior și cele două laturi ale umbrei	$\frac{1}{18}$ sau $\frac{1}{18\frac{1}{2}}$	$\frac{3}{10}$
Distanța dintre mijlocul luminii celei mai intense a primului chenar și al celui de al doilea	$\frac{1}{120}$	$\frac{1}{21}$
Distanța dintre mijlocul celei mai intense lumini a chenarului al doilea și al treilea	$\frac{1}{170}$	$\frac{1}{31}$
Lățimea părții luminoase (verde, alb, galben și roșu) a primului chenar	$\frac{1}{170}$	$\frac{1}{32}$
Lățimea spațiului mai întunecos dintre primul chenar și al doilea	$\frac{1}{240}$	$\frac{1}{45}$
Lățimea părții luminoase a chenarului al doilea	$\frac{1}{290}$	$\frac{1}{55}$
Lățimea spațiului mai întunecos dintre chenarul al doilea și al treilea	$\frac{1}{340}$	$\frac{1}{63}$

chenar începea să se ivească și să apară mai luminos decât restul luminii la o distanță mai mică de un sfert de inch de fir, iar linia întunecoasă sau umbra între acel chenar și chenarul al doilea începea să apară la o distanță de fir mai mică de o treime de inch. Al doilea chenar începea să apară la o distanță de fir mai mică de

o jumătate de inch și umbra dintre acesta și al treilea chenar la o distanță mai mică de un inch, iar al treilea chenar la o distanță mai mică de trei inch. La distanțe mai mari ele deveneau cu mult mai sensibile, dar păstrau aproximativ același raport între lărgimile și intervalele lor pe care l-au avut la prima lor apariție. Într-adevăr, distanța dintre mijlocul primului chenar și mijlocul celui de-al doilea era față de distanța dintre mijlocul chenarului al doilea și al treilea în raportul  $3/2$  sau  $10/7$ . Ultima din aceste două distanțe era egală cu lărgimea luminii intense sau a părții luminoase a primului chenar. Această lărgime era față de lărgimea luminii intense a chenarului al doilea în raportul  $7/4$  și față de intervalul întunecos dintre primul chenar și al doilea în raportul  $3/2$ , iar față de intervalul întunecos asemănător dintre al doilea și al treilea ca  $2/1$ . Lărgimea chenarelor părea să fie în progresia numerelor  $1, \sqrt{\frac{1}{3}}, \sqrt{\frac{1}{5}}$ , iar intervalele lor în aceeași progresie, adică chenarele împreună cu intervalele lor erau în progresia continuă a numerelor  $1, \sqrt{\frac{1}{2}}, \sqrt{\frac{1}{3}}, \sqrt{\frac{1}{4}}, \sqrt{\frac{1}{5}}$  sau aveau valori apropiate. Aceste proporții se mențineau aproape aceleași la toate distanțele față de fir, intervalele întunecoase dintre chenare fiind tot atât de largi în raport cu lățimea chenarelor la prima lor apariție ca și mai târziu la distanțe mari de fir, deși nu erau atât de întunecoase și distincte.

*Observația 5.* Soarele strălucind în camera mea întunecată printr-o deschidere largă de un sfert de inch, am așezat la o distanță de două sau trei picioare de deschidere o coală de carton în-negrită peste tot pe ambele fețe, care în mijloc avea un orificiu de vreo trei sferturi de inch pătrați pentru ca lumina să treacă prin ea. În spatele orificiului am fixat pe carton cu smoolă lama unui cuțit ascuțit, pentru ca să intercepteze o parte din lumina care străbătea prin orificiu. Planele cartonului și a lamei de cuțit erau paralele între ele și perpendiculare pe raze. Când acestea erau plasate în așa fel că nici o parte din lumina solară nu cădea pe carton, ci toată trecea prin orificiu spre cuțit, o parte din ea cădea pe tăișul cuțitului, iar cealaltă trecea pe lângă tăișul lui; am lăsat această parte a luminii care trecea să cadă pe o hîrtie albă la trei sau patru picioare în spatele cuțitului și acolo am văzut două fascicule de lumină slabă răspîndindu-se de ambele părți ale fasciculului de umbră, la fel ca cozile cometelor. Însă, din cauza strălucirii luminii directe a Soarelui pe hîrtie, aceste fascicule slabe

erau eclipsate, așa că abia le puteam vedea; am făcut un mic orificiu în mijlocul hîrtiei pentru ca lumina să treacă prin ea și să cadă pe o pînză neagră în spatele ei și astfel am văzut clar cele două fascicule. Ele se asemănau unul cu altul și erau aproape egale în lungime, lățime și în cantitatea de lumină. Lumina lor la capătul învecinat cu lumina directă a Soarelui era destul de intensă pe o lățime de aproximativ un sfert sau vreo jumătate de inch și, pe măsură ce se îndepărtau de la lumina directă, descreștea treptat pînă cînd devenea imperceptibilă. Întreaga lungime a fiecăreia dintre aceste două fascicule măsurate pe hîrtie la o distanță de trei picioare de cuțit era de vreo șase sau opt inch, astfel că la tăișul cuțitului subîntindea un unghi de aproximativ 10 sau 12 sau cel mult 14 grade. Totuși uneori mi s-a părut că se întindea cu trei sau patru grade mai departe, dar cu o lumină atît de slabă, încît rareori am putut-o observa și bănuiam că ea poate proveni (cel puțin într-o anumită măsură) din vreo altă cauză decît de la cele două fascicule. Așezîndu-mă cu ochiul în acea lumină dincolo de capătul fasciculului care era în spatele cuțitului și privind spre cuțit, am putut vedea pe tăișul lui o linie de lumină, și aceasta nu numai cînd ochiul era pe linia fasciculului, ci și cînd era în afara acelei linii către vîrfurile cuțitului sau către mînerul lui. Această linie de lumină apărea în vecinătatea imediată a cuțitului și era mai îngustă decît linia chenarului interior și mai îngustă cînd ochiul meu era mai depărtat de lumina directă și de aceea părea să treacă printre lumina acelui chenar și tăișul cuțitului, iar cea care trecea mai aproape de tăiș părea a fi mai mult îndoită, deși nu toată.

*Observația 6.* Am așezat un alt cuțit lîngă acesta în așa fel ca tăișurile lor să fie paralele și față în față unul cu celălalt, astfel ca fasciculul de lumină să poată cădea pe ambele cuțite și o parte din el să treacă printre tăișuri. Cînd distanța dintre tăișurile lor era cam de  $\frac{1}{400}$  inch, fasciculul se despărțea la mijloc și lăsa

o umbră între cele două părți. Umbra era atît de neagră și de întunecoasă, încît toată lumina ce trecea printre cuțite părea îndoită spre o latură sau spre alta. Iar cînd cuțitele se apropiau mai mult unul de altul, umbra se lățea și fasciculele erau mai scurte la capătul lor interior vecin cu umbra, pînă cînd în momentul contactului cuțitelor întreaga lumină dispărea, lăsînd locul umbrei.

De aici trag concluzia că lumina care e mai puțin curbata și merge spre extremitățile interioare ale fasciculelor trece pe lîngă

tăişurile cuţitelor la cea mai mare distanţă, iar această distanţă, când începe să apară umbra printre fascicule, este de aproximativ  $\frac{1}{800}$  inch. Lumina care trece pe lângă tăişurile cuţitelor la dis-

tanţe din ce în ce mai mici se îndoaie din ce în ce mai mult şi merge spre acele părţi ale fasciculelor care se depărtează tot mai mult de lumina directă, deoarece, atunci când cuţitele se apropie pînă ce se ating, acele părţi ale fasciculelor care sînt mai departe de lumina directă dispar ultimele.

*Observația 7.* În observația a 5-a chenarele nu apăreau, ci din cauza lăţimii deschiderii din fereastră deveneau atît de largi, încît pătrundeau una într-alta şi, unindu-se, formau o lumină continuă la începutul fasciculelor. În observația a şasea însă, pe măsură ce cuţitele se apropiau unul de altul, cu puţin înainte ca să apară umbra între cele două fascicule începeau să se ivească chenarele la capetele interioare ale fasciculelor de cele două părţi ale luminii directe: trei la o latură formată de tăişul unui cuţit, iar treila cealaltă latură formată de tăişul celuilalt cuţit. Ele erau cu atît mai distincte, cu cît cuţitele erau plasate la mai mare distanţă de orificiul din fereastră şi deveneau şi mai distincte făcînd deschiderea mai mică, astfel că uneori putem vedea linia slabă a unui al patrulea chenar dincolo de cele trei menţionate mai sus. Pe măsură ce cuţitele continuau să se apropie unul de altul, chenarele deveneau tot mai distincte şi mai largi, pînă cînd dispăreau. Chenarul exterior dispărea primul, apoi cel din mijloc, iar cel din interior ultimul. După ce dispăreau toate, iar linia de lumină ce se afla în mijloc între ele devenea foarte lată, răspîndindu-se de ambele laturi în fasciculele de lumină descrise în observația a 5-a, umbra sus-amintită începea să apară în mijlocul acestei linii, împărţind-o de-a lungul lungimii ei în două linii luminoase şi crescînd pînă cînd dispărea întreaga lumină. Lăţimea chenarelor era atît de mare, încît razele care pătrundeau pînă la chenarul interior păreau de douăzeci de ori mai curbate în momentul cînd acest chenar era gata să dispară, şi aceasta cînd unul din cuţite era înlăturat.

Din această observație, comparată cu cea precedentă, am tras concluzia că lumina primului chenar trecea pe lângă tăişul cuţitului la o distanţă mai mare de  $\frac{1}{800}$  inch, iar lumina chenarului

al doilea trecea pe lângă tăişul cuţitului la o distanţă mai mare decît lumina primului chenar şi a celui de-al treilea la o distanţă

mai mare decît a celui de al doilea, iar cea a fasciculelor de lumină descrise în observațiile a 5-a și a 6-a trecea pe lîngă tăişurile cuțitelor la distanțe mai mici decît aceea a oricărui chenar.

*Observația 8.* Am ascuțit două cuțite astfel ca tăişurile lor să fie foarte drepte și, înfingînd vîrfurile lor într-o scîndură în așa fel ca tăişurile lor să fie față în față și întîlnindu-se aproape de vîrfurile lor să facă un unghi drept, le-am fixat mînerile laolaltă cu păcură pentru a face acest unghi invariabil. Distanța dintre tăişurile cuțitelor la o depărtare de patru inch la vîrfurile unghiului unde se întîlneau tăişurile cuțitelor era de o optime de inch și deci unghiul cuprins de tăişuri era de vreo 54 de grade. Cuțitele astfel fixate împreună le-am așezat într-un fascicul de lumină solară care intra în camera mea întunecoasă printr-o deschidere de  $\frac{1}{42}$  inch la o

distanță de 10 sau 12 picioare de deschidere. Am lăsat ca lumina care trecea printre tăişurile lor să cadă foarte oblic pe o riglă albă întinsă la o distanță de jumătate de inch sau de un inch de cuțite, și acolo am văzut chenarele produse de cele două tăişuri mergînd de-a lungul marginilor umbrelor cuțitelor în linii paralele cu acele margini fără să se lățească sensibil, pînă ce se întîlneau sub unghiuri egale cu unghiul cuprins de tăişurile cuțitelor; acolo unde se întîlneau și se uneau, se terminau fără a se încrucișa. Dacă însă rigla era ținută la o depărtare mai mare de cuțite, chenarele care erau mai depărtate de locul întîlnirii lor erau puțin mai înguste și deveneau treptat tot mai largi pe măsură ce se apropiau unul de altul și, după ce se întîlneau, se încrucișau și apoi deveneau cu mult mai late decît înainte.

De aici deduc că distanțele la care trec chenarele pe lîngă cuțite nu sînt nici mărite, nici modificate de apropierea cuțitelor, ci numai unghiurile de îndoire ale razelor cresc mult prin această apropiere; cuțitul care e mai aproape de rază determină încotro se va curba raza, iar celălalt cuțit mărește curbarea.

*Observația 9.* Cînd razele cădeau foarte oblic pe riglă la o distanță de o treime de inch de cuțite, linia întunecoasă dintre primul și al doilea chenar de umbră al unui cuțit și linia întunecoasă dintre primul și al doilea chenar de umbră al celui de-al doilea cuțit se întîlneau la distanța de o cincime de inch de extremitatea luminii care trecea printre cuțite la locul lor de contact. Prin urmare, distanța dintre tăişurile cuțitelor la întîlnirea acestor linii obscure era de  $\frac{1}{160}$  inch. Căci o lungime oarecare a tăişurilor cuțitelor

măsurată de la punctul lor de întâlnire, raportată la distanța dintre tășurile cuțitelor la capătul acelei lungimi, este în același raport ca 4 la  $\frac{1}{8}$  inch, adică cum ar fi  $\frac{1}{5}$  la  $\frac{1}{160}$  inch. Astfel deci liniile negre menționate mai sus se întâlnesc la mijlocul luminii ce trece printre cuțite acolo unde acestea se află la distanța de  $\frac{1}{160}$  inch și o jumătate din acea lumină trece pe lângă tășul unui cuțit la o distanță ce nu depășește  $\frac{1}{320}$  inch și, căzînd pe hîrtie, produce chenarele de umbră ale acelui cuțit, iar cealaltă jumătate trece pe lângă tășul celuilalt cuțit la o distanță nu mai mare de  $\frac{1}{320}$  inch și, căzînd pe hîrtie, produce chenarele de umbră ale celuilalt cuțit. Dar, dacă ținem hîrtia la o distanță de cuțite mai mare de o treime de inch, liniile întunecoase amintite mai sus se întâlnesc la o distanță mai mare de o cincime de inch de extremitatea luminii ce trece printre cuțite în locul de întâlnire al tășurilor lor. Prin urmare, lumina care cade pe hîrtie în locul unde aceste linii se întâlnesc trece printre cuțite în locul unde tășurile se află la o distanță mai mare de  $\frac{1}{160}$  inch.

Într-adevăr, altă dată cînd cele două cuțite erau la o distanță de opt picioare și cinci inch de mica deschidere din fereastră făcută ca mai sus cu un mic ac, lumina care cădea pe hîrtie în locul unde se întâlneau liniile întunecoase trecea printre cuțite acolo unde distanța dintre tășurile lor era ca în tabela de mai jos, iar distanța de la hîrtie la cuțite era de asemenea după cum urmează (v. pag. 210).

De aici deduc că lumina care produce chenarele pe hîrtie nu este aceeași lumină pentru toate distanțele de la hîrtie la cuțite, căci, atunci cînd hîrtia este ținută mai aproape de cuțite, chenarele sînt formate de lumina ce trece pe lângă tășurile cuțitelor la o distanță mai mică și este mai curbată decît atunci cînd hîrtia se ține la o distanță mai mare de cuțite.

*Observația 10.* Cînd chenarele de umbră ale cuțitelor cădeau perpendicular pe hîrtie la o distanță mare de cuțite, ele aveau forma de hiperbole și dimensiunile lor erau următoarele. Să considerăm că  $CA$  și  $CB$  (fig. 3) reprezintă liniile trasate pe hîrtie paralel cu tășurile cuțitelor, printre care ar cădea toată lumina dacă ar trece





reprezentînd extremitatea umbrei unui cuțit, linia obscură dintre primul chenar și al doilea al acelei umbre și linia obscură dintre chenarul al doilea și al treilea ale aceleiași umbre;  $xip$ ,  $ykq$ , și  $zir$  alte trei linii hiperbolice, reprezentînd extremitatea umbrei celui alt cuțit, linia obscură dintre primul chenar și al doilea al acelei umbre și linia obscură dintre chenarul al doilea și al treilea al aceleiași umbre. Imaginați-vă că aceste trei hiperbole sînt asemenea și egale cu precedentele trei, pe care le taie în punctele  $i$ ,  $k$  și  $l$ , și că umbrele cuțitelor sînt limitate și distincte de primele chenare prin liniile  $eis$  și  $xip$  pînă la întîlnirea și încrucișarea chenarelor și apoi acele linii încrucișează chenarele sub forma de linii negre, mărîgînd latura interioară a primelor chenare și distingîndu-le de o altă lumină care începe să apară în  $i$  și luminează întreg spațiul triunghiular  $ipDEs$  cuprins de aceste linii negre și de linia dreaptă  $DE$ . O asimptotă a acestei hiperbole este linia  $DE$ , iar celelalte asimptote sînt paralele cu liniile  $CA$  și  $CB$ . Fia  $rv$  o linie trasată undeva pe hîrtie paralelă cu asimptota  $DE$  și tăind linia dreaptă  $AC$  în  $m$ , pe  $BC$  în  $n$ , iar cele șase linii hiperbolice în  $p$ ,  $q$ ,  $r$ ,  $s$ ,  $t$ ,  $v$ ; măsurînd distanțele  $ps$ ,  $qt$ ,  $rv$ , apoi aducînd lungimile ordonatelor  $np$ ,  $nq$ ,  $nr$  sau  $ms$ ,  $mt$ ,  $mv$  și făcînd aceasta la diferite distanțe ale liniei  $rv$  de asimptota  $DE$ , veți putea găsi atîtea puncte ale acestor hiperbole cîte doriți și de acolo să recunoașteți că aceste linii curbe sînt hiperbole care diferă puțin de hiperbolele conice. Apoi, măsurînd liniile  $Ci$ ,  $Ck$ ,  $Cl$ , veți putea găsi alte puncte ale acestor curbe.

De exemplu, cînd cuțitele se aflau la o distanță de zece picioare de deschiderea din fereastră, hîrtia la nouă picioare de cuțite, iar unghiul cuprins de tăișurile cuțitelor cu care unghiul  $ACB$  este egal era subîntins de o coardă ce se raporta la rază în raportul  $1/32$ , iar distanța liniei  $rv$  de asimptota  $DE$  era de o jumătate de inch, am măsurat liniile  $ps$ ,  $qt$ ,  $rv$  și am găsit că ele sînt respectiv de 0,35;

0,65; 0,98 inch și, adăugînd la jumătățile lor linia  $\frac{mn}{2}$  (care aici

era de  $\frac{1}{128}$  sau 0,0078 inch), sumele  $np$ ,  $nq$ ,  $nr$  erau de 0,1828;

0,3328; 0,4978 inch. Am măsurat și distanțele părților celor mai luminoase ale chenarelor care se întindeau între  $pq$  și  $st$ ,  $qr$  și  $tv$  și imediat dincolo de  $r$  și  $v$  și am aflat că ele sînt de 0,5; 0,8 și 1,17 inch.

*Observația 11.* În timp ce Soarele lumina în camera mea întunecată printr-un mic orificiu făcut dintr-o placă de plumb cu un ac subțire ca mai sus, am plasat în dreptul acestui orificiu o prismă

ca să reflecte lumina și să formeze pe peretele opus spectrul colorat descris în experiența a 3-a a primei părți a cărții întâi. Atunci am constatat că umbrele tuturor corpurilor ținute în lumina colorată dintre prismă și perete erau mărginite de chenare de culoarea luminii în care aceste corpuri erau expuse. În lumina roșie-închisă ele erau cu totul roșii, fără nici un albastru sau violet sesizabil, iar în lumina albastră-închisă erau complet albastre, fără nici un roșu sau galben sesizabil; la fel în lumină verde erau cu totul verzi, exceptând puțin galben și albastru, care erau amestecate în lumina verde a prisme. Comparînd chenarele formate în diferitele lumini colorate, am găsit că cele formate în lumina roșie erau cele mai late, cele formate în violet cele mai înguste, iar cele în verde erau de o mărime mijlocie. Într-adevăr, chenarele cu care era mărginită umbra unui fir de păr omenesc, fiind măsurate transversal pe umbră la distanța de șase inch de fir, distanța dintre partea mijlocie și cea mai luminoasă a primului chenar sau cel mai interior de o parte a umbrei și cea a chenarului asemănător de cealaltă parte a umbrei era în lumina roșie-închisă de  $\frac{1}{37 \frac{1}{2}}$  inch, iar în violet-închis de  $\frac{1}{46}$ .

Distanța corespunzătoare dintre părțile de mijloc și cele mai luminoase ale chenarelor de ordinul al doilea de ambele părți ale umbrei era în lumină roșie-închisă de  $\frac{1}{22}$ , iar în violet de  $\frac{1}{27}$  inch. Aceste distanțe ale chenarelor păstrau aceleași proporții la orice depărtare de la firul de păr fără nici o variație sensibilă.

Așadar, razele care formau chenare în lumina roșie treceau pe lîngă fir la o distanță mai mare decît cele care produceau chenarele asemănătoare în violet; prin urmare, firul care cauza aceste chenare acționa la fel asupra luminii roșii sau a razelor celor mai puțin refrangibile la o distanță mai mare, ca și asupra violetului sau a razelor mai refrangibile la o distanță mai mică; prin această acțiune dispunea lumina roșie în chenare mai late, violetul în chenare mai înguste și lumina de culori intermediare în chenare de mărimi intermediare, fără a schimba culcarea nici unui fel de lumină.

Prin urmare, cînd în prima și a doua din aceste observații firul de păr era ținut în fasciculul de lumină albă solară, arunca o umbră înconjurată de trei chenare de lumină colorată; acele culori nu proveneau din vreo nouă modificare imprimată razelor de lumină de către fir, ci numai de la inflexiunile diferite prin care se separau una de cealaltă diferitele feluri de lumină, care înainte de separare

compuneau prin amestecul tuturor culorilor lor, fasciculul alb de lumină solară, dar cînd erau separate constituiau luminile diferitelor culori pe care inițial le aveau. În observația a 11-a, unde culorile erau separate înainte ca lumina să treacă pe lîngă fir, razele cele mai puțin refrangibile, care la separarea lor de rest produceau roșul, erau curbate la o distanță mai mare de fir, astfel că formau trei chenare roșii la o mai mare distanță de mijlocul umbrei firului; razele cele mai refrangibile, care prin separare formau violetul, se îndoiau la o distanță mai mică de fir, astfel că produceau trei chenare violete la o distanță mai mică de umbra firului. Alte raze cu grade de refrangibilitate intermediare erau curbate la distanțe intermediare de fir, astfel încît dădeau naștere la chenare de culori intermediare la distanțe intermediare de mijlocul umbrei firului. În observația a 2-a, unde în lumina albă care trece pe lîngă fir sînt amestecate toate culorile, aceste culori se separau prin inflexiunile variate ale razelor și chenarele pe care le generează fiecare dintre aceste culori par toate împreună, iar chenarele interioare, fiind învecinate, alcătuiesc un chenar lat compus din toate culorile în ordinea lor naturală: violetul în interiorul chenarului imediat de lîngă umbră, roșul în afară mai departe de umbră, iar albastrul, verdele și galbenul în mijloc. În mod similar, chenarele din mijloc ale tuturor culorilor, așezate în ordine și fiind vecine, formează un alt chenar compus din toate culorile, iar chenarele exterioare compuse din toate culorile așezate în ordine, fiind învecinate, formează al treilea chenar larg compus din toate culorile. Acestea sînt cele trei chenare de lumină colorată de care sînt înconjurată umbrele tuturor corpurilor în observația a doua.

Cînd făceam observațiile de mai sus, mi-am propus să repet cele mai multe dintre ele cu mai multă grijă și exactitate și să efectuez altele noi pentru a determina felul în care se curbează razele de lumină în trecerea lor pe lîngă corpuri ca să producă chenarele colorate cu liniile întunecoase dintre ele. Dar, deoarece atunci am fost întrerupt, acum nu mă mai pot gîndi să iau din nou în considerare aceste lucruri. Fiindcă nu am terminat această parte a planului meu, voi încheia propunînd cîteva *probleme* pentru cercetările ulterioare pe care le vor face alții :

*Problema 1.* Corpurile nu acționează asupra luminii la oarecare distanță și prin acțiunea lor nu-i curbează razele? Această acțiune nu este (*caeteris paribus*)\* mai intensă la o distanță mai mică?

---

\* Toate celelalte fiind egale.

*Problema 2.* Razele care diferă în refrangibilitate nu se deosebesc și în reflexibilitate? Nu sînt separate una de cealaltă prin inflexiunile lor diferite, astfel ca după separare să producă cele trei chenare colorate descrise mai sus? În ce manieră sînt ele curbate ca să formeze acele chenare?

*Problema 3.* Razele de lumină în trecerea lor pe lîngă muchiile și marginile corpurilor nu se curbează de mai multe ori în diverse direcții cu o mișcare asemănătoare mișcării unui țipar? Iar cele trei chenare de lumină colorată menționată mai sus nu se nasc din trei astfel de inflexiuni?

*Problema 4.* Razele de lumină care cad pe corpuri și sînt reflectate și refractate, nu încep să se curbeze înainte de a ajunge la corpuri? Nu sînt reflectate, refractate și curbate, potrivit unuia și aceluiași principiu, care acționează în mod diferit în condiții diferite?

*Problema 5.* Corpurile și lumina nu acționează reciproc unul asupra altuia, adică corpurile asupra luminii emițînd-o, reflectînd-o, curbînd-o, iar lumina asupra corpurilor încălzindu-le și punînd părțile lor într-o mișcare de vibrație din care apare căldura?

*Problema 6.* Corpurile negre nu primesc mai ușor căldura de la lumină decît cele de alte culori din cauză că lumina căzînd pe ele, nu se reflectă în afară, ci intră în corpuri și se reflectă și refractă în interiorul lor de repetate ori pînă ce se stinge și dispare?

*Problema 7.* Intensitatea și puterea acțiunii dintre lumină și corpurile sulfuroase nu este una dintre cauzele pentru care corpurile sulfuroase se aprind mai ușor și ard cu mai multă violență decît celelalte corpuri?

*Problema 8.* Toate corpurile solide care sînt încălzite peste un anumit grad emit lumină și strălucesc; această emisie nu este oare produsă de mișcările vibratorii ale părților lor? Toate corpurile solide care abundă în părți terestre, și în special în cele sulfuroase, nu emit lumină ori de cîte ori acele părți sînt suficient de agitate, fie că această agitație e produsă cu ajutorul căldurii prin frecare, percuție, putrefacție sau prin orice mișcare vitală sau o altă cauză? Așa sînt, de exemplu, apa mării în timp de furtună, mercurul agitat *in vacuo*\*, spatele unei pisici sau gîtul unui cal pe care-l netezim sau frecăm oblic în întuneric; lemnul, carnea și peștele în putrefacție, vaporii ce se înalță din apele care putrezesc, numiți de obicei

---

\* Vid.

*ignes fatui* \* ; grămezi de fin sau de grîne umede încălzite prin fermentație, licuricii sau ochii unor animale prin mișcări vitale ; *phosphorus* \*\* obișnuit, agitat prin frecarea cu vreun corp sau datorită particulelor acide ale aerului ; chilimbarul și anumite diamante prin lovire, apăsare sau frecare ; bucățele de oțel scăpărate de cremene ; fierul ciocănit foarte repede pînă ce devine atît de cald încît aprinde sulful aruncat asupra lui ; osiile carelor ce iau foc prin rotirea rapidă a roților ; și unele lichide amestecate între ele ale căror particule acționează puternic între ele, ca uleiul de vitriol distilat dintr-o cantitate egală de salpetru și apoi amestecat cu o cantitate dublă de ulei de anisol. De asemenea o sferă de sticlă avînd un diametru de vreo 8 sau 10 inch, fiind pusă într-un dispozitiv în care se poate învîrți repede în jurul axei sale, prin rotire va lumina în locul unde se freacă de palma mîinii cu care e în contact ; iar dacă în același timp ținem o bucată de hîrtie albă sau de pînză albă ori vîrfurile unui deget la o distanță de aproximativ un sfert de inch de partea sticlei care este în mișcare mai rapidă. *Aburul* electric ce se excită prin frecarea sticlei de mînă, țîșnind spre hîrtia albă, pînză sau deget, se va pune într-o astfel de agitație, încît va emite lumină și va face ca hîrtia albă, pînza sau degetul să apară luminoase ca un licurici ; țîșnind afară din sticlă, uneori va lovi degetul în așa fel încît se va face simțit. Aceleași lucruri au fost observate la frecarea unui cilindru lung și gros de sticlă sau de chihlimbar cu o hîrtie ținută într-o mînă și continuînd frecarea pînă ce sticla se încălzea.

*Problema 9.* Focul nu este un corp încălzit atît de tare încît emite lumină din belșug ? Căci ce este un fier roșu fierbinte decît foc ? Și ce este un cărbune aprins decît lemn încălzit la roșu ?

*Problema 10.* Flacăra nu este abur, fum sau exalații încălzite pînă la roșu, adică atît de fierbinți încît luminează ? Într-adevăr, corpurile nu se aprind fără să emită fum abundent și acest fum arde în flacăra. *Ignis fatuus* este un abur care luminează fără căldură ; și nu există aceeași deosebire între acești vapori și flacăra ca între lemnul putred ce luminează fără lumină și cărbunii incandescenti ? La distilarea spirturilor fierbinți, dacă ridicăm capacul alambicului, vaporii care se ridică din alambic vor lua foc la flacăra unei lumînări și se vor preface în flacăra, iar flacăra se va răspîndi de-a lungul vaporilor de la lumînare pînă la alambic. Unele corpuri

---

\* Luminițe rătăcitoare, lumini jucătoare.

\*\* Fosfor.

încălzite prin mișcare sau fermentație, dacă devin fierbinți, fumegă din abundență și, dacă căldura este destul de mare, fumul va lumina și va deveni flacăra. Metalele în fuziune nu dau flacăra din cauza lipsei de fum abundent, cu excepția zincului, care fumegă din abundență și deci produce flacăra. Toate corpurile care produc flacăra, ca uleiul, seul, ceara, lemnul, cărbunele de pământ, smoala, sulf, prin flacăra se consumă și se împrăstie într-un fum arzător, care stinge flacăra, este foarte gros și vizibil și uneori dă un miros tare, însă în flacăra își pierde mirosul prin ardere și, potrivit naturii fumului, este de diferite culori, ca cea albastră a sulfului, cea verde a cuprului dizolvat prin sublimat, cea galbenă a seului, cea albă a camforului. Fumul, trecând prin flacăra, nu poate să nu se înroșească, iar fumul înroșit nu poate avea alt aspect decât acela al unei flăcări. Când praful de pușcă ia foc, el trece în fum incandescent. Cărbunele de lemn și sulf iau foc ușor și aprind salpetrul, iar spirtul de azot\*, fiind în acest fel rarefiat în vaporii, țîșnește afară cu explozie în același fel cum ies vaporii de apă din eolipil\*\* ; de asemenea și sulf, fiind volatil, se transformă în vaporii și mărește explozia. Vaporii acizi de sulf (anume aceia care se transformă în ulei de sulf prin distilare sub un clopot), intrând cu violență în corpul solid al salpetrului, pun în libertate spirtul de azot și produc o fermentație intensă, în urma căreia căldura crește mult și părțile solide ale nitratului se rarefiază, transformându-se în fum, și în acest fel explozia se produce cu mai multă violență și mai rapid. Într-adevăr, dacă amestecăm sare de tartru cu praful de pușcă și încălzim amestecul pînă ce ia foc, explozia va fi mai intensă și mai rapidă decât a prafului de pușcă singur, și aceasta nu poate avea altă cauză decât că vaporii prafului de pușcă acționează asupra sării de tartru, datorită căreia sarea se rarefiază. Prin urmare, explozia prafului de pușcă ia naștere din acțiunea violentă prin care întreg amestecul, fiind încălzit repede și intens, se rarefiază și se prefăce în fum și vaporii, iar vaporii în urma violenței acelei acțiuni ajung atît de fierbinți, încît luminează și apar sub formă de flacăra.

*Problema 11.* Nu-și păstrează corpurile mari căldura timp mai îndelungat pentru că părțile lor se încălzesc reciproc? Și nu se poate ca corpurile mari, dense și solide, cînd sînt încălzite peste un anumit

---

\* Acid azotic.

\*\* Aparat format dintr-o sferă în care se găsește apă : Prin încălzire vaporii ies cu putere prin tuburile laterale și imprimă o mișcare de rotație a aparatului. Se folosește pentru ilustrarea puterii vaporilor.

grad, să emită lumină atît de abundant, încît prin emisia și reacția luminii lor și prin reflexiile și refracțiile razelor în porii lor să devină mai fierbinți pînă ce ajung la un anumit grad de căldură egală cu cea a Soarelui? Iar Soarele și stelele fixe nu sînt oare vaste Pămînturi foarte încălzite, a căror căldură se conservă datorită mărimii corpurilor și acțiunii și reacțiunii reciproce dintre ele și lumina pe care o emit și ale căror părți sînt împiedicate să fumege nu numai prin soliditatea lor, ci și prin marea greutate și densitate a atmosferelor ce apasă asupra lor și le comprimă cu mare intensitate, condensînd vaporii și exhalatiile ce se ridică din ele? Într-adevăr, dacă încălzim ușor apa într-un vas transparent golit de aer, apa va clocoti și va fierbe tot atît de violent *in vacuum* ca și în aer liber într-un vas pus la foc cînd primește cu mult mai multă căldură. Căci greutatea atmosferei care apasă reține vaporii și împiedică fierberea apei pînă ce devine cu mult mai fierbinte decît se cere ca să fiarbă *in vacuo*. De asemenea un amestec de staniu și plumb, fiind așezat pe o bucată de fier incandescent *in vacuo*, emite fum și flacără, dar același amestec în aer liber, din cauza atmosferei ce-l apasă, nu emite nici un fum care să poată fi văzut. În același fel, marea greutate a atmosferei care se află pe globul Soarelui poate împiedica corpurile de acolo de a se ridica și de a se îndepărta de Soare sub formă de vaporii și fum sub acțiunea unei călduri cu mult mai mari decît aceea care la suprafața Pămîntului nostru ar prefăcea foarte ușor în vaporii și fum. Aceeași greutate mare poate condensa acei vaporii și exhalatii imediat ce încep a se ridica din Soare și să le forțeze să se întoarcă imediat înapoi la el și prin această acțiune îi măresc căldura cam în același fel în care pe Pămîntul nostru aerul mărește căldura focului din bucătărie. Aceeași greutate poate împiedica globul Soarelui de a se micșora dacă aceasta nu are loc prin emisie de lumină și a unei cantități foarte mici de vaporii și de exhalatii.

*Problema 12.* Razele de lumină căzînd pe fundul ochiului nu excită vibrații în *tunica retina*? Aceste vibrații, propagîndu-se de-a lungul fibrelor solide ale nervilor optici la creier, cauzează senzația vederii. Într-adevăr, din cauză că corpurile dense își conservă căldura un timp lung, iar cele mai dense o conservă un timp și mai lung, vibrațiile părților lor sînt de natură durabilă și deci se pot propaga de-a lungul fibrelor solide ale materiei uniforme și dense la o mare distanță pentru a transmite creierului impresiile produse asupra tuturor organelor de simț. Căci mișcarea care poate continua



multă vreme într-una și aceeași parte a unui corp se poate propaga pe un drum lung de la o parte la alta, presupunînd că corpul e omogen, astfel că mișcarea nu se poate reflecta, refracta, întrerupe sau denatura de nici o inegalitate a corpului.

*Problema 13.* Diferitele feluri de lumină nu produc oare vibrații de diverse mărimi care excită senzații de diferite culori potrivit mărimilor lor, foarte asemănătoare cu vibrațiile aerului, care, potrivit mărimilor lor diferite, excită senzații de diferite sunete? În particular, razele cele mai refrangibile nu excită vibrații mai scurte care dau senzația de violet-închis, cele mai puțin refrangibile vibrații mai lungi care produc impresia de roșu-închis, iar diferitele feluri de raze intermediare vibrații de mărimi intermediare producătoare ale diverselor culori intermediare?

*Problema 14.* Armonia și discordanța culorilor nu provine oare din rapoartele dintre vibrațiile propagate prin fibrele nervilor optici la creier, după cum acordul și dezacordul sunetelor provine din rapoartele dintre vibrațiile aerului? Într-adevăr, unele culori, dacă sînt privite împreună, se potrivesc între ele, cum e culoarea aurului și indigoului, pe cînd celelalte nu se potrivesc.

*Problema 15.* Imaginile obiectelor văzute cu amîndoi ochii nu se unesc acolo unde se întîlnesc nervii optici înainte de a intra în creier, fibrele din partea dreaptă a ambilor nervi unindu-se acolo și după unire mergînd în creier prin nervul care e de partea dreaptă a capului, iar fibrele din partea stîngă a ambilor nervi unindu-se în același loc și după unire mergînd la creier prin nervul care e de partea stîngă a capului, și acești doi nervi întîlnindu-se în creier în așa fel că fibrele lor nu formează decît o singură imagine întreagă, a cărei jumătate este de partea dreaptă a *sensorium*-ului și vine din partea dreaptă a ambilor nervi optici la locul unde se întîlnesc nervii și de acolo la partea dreaptă a capului în creier, iar cealaltă jumătate care este de partea stîngă a *sensorium*-ului vine la fel din partea stîngă a ambilor ochi? Într-adevăr, nervii optici ai animalelor care privesc cu amîndoi ochii în aceeași direcție (ca oamenii, cîinii, oile, boii etc.) se întîlnesc înainte de a ajunge la creier, pe cînd nervii optici ai animalelor care nu privesc cu amîndoi ochii în aceeași direcție (ca peștii sau cameleonul) nu se întîlnesc, dacă am fost bine informat.

*Problema 16.* Cînd un om își apasă în întuneric cu degetul un colț al ochiului și își întoarce ochiul de la deget, va vedea un cerc colorat asemănător cu cele din penele din coada păunului.

Dacă ochiul și degetul rămân liniștite, aceste culori dispar într-o secundă; dacă însă degetul se mișcă cu o mișcare tremurătoare, ele apar din nou. Nu provin oare aceste culori din astfel de mișcări excitate în fundul ochiului de apăsarea și mișcarea degetului, după cum altă dată sînt excitate de lumina care cauzează vederea? Și nu continuă o secundă mișcările odată produse înainte de a înceta? Iar cînd cineva, lovindu-și ochiul, vede o sclipire de lumină, prin lovire nu se excită o mișcare analogă în retină? Cînd un cărbune aprins mișcat repede pe circumferința unui cerc face ca întreaga circumferință să apară ca un cerc de foc, aceasta nu este din cauză că mișcările excitate în fundul ochiului sînt de natură durabilă și continuă pînă ce cărbunele arzător, rotindu-se, se întoarce în locul său de mai înainte? Apoi, considerînd durata mișcărilor excitate în fundul ochiului de lumină, ele nu sînt de natură vibratorie?

*Problema 17.* Dacă aruncăm o piatră într-o apă liniștită, undele excitate în modul acesta continuă să se producă cîtva timp în locul în care a căzut piatra în apă și de acolo se propagă în cercuri concentrice pe suprafața apei la mari distanțe. Vibrațiile sau tremurările excitate în aer prin percuție continuă să se miște cîtva timp din locul percuției în sfere concentrice pînă la distanțe mari. La fel, cînd o rază de lumină cade pe suprafața unui corp transparent și este refractată sau reflectată, nu se pot excita în acest fel unde de vibrații sau de tremurări în mediul refractor sau reflector în punctul de incidență și continuă să se producă acolo și să se propage tot atît timp cît continuă să se producă și să se propage cînd sînt excitate în fundul ochiului prin apăsarea sau mișcarea degetului sau prin lumina ce vine de la cărbunele aprins în experiențele menționate mai sus? Aceste vibrații nu se propagă din punctul de incidență la distanțe mari? Nu întrec ele razele de lumină și, depășindu-le succesiv, nu le aduc în accese de ușoară reflexie și ușoară transmisie descrise mai sus? Căci dacă razele încearcă să se retragă de la părțile mai dense ale vibrației, ele pot fi alternativ accelerate și întîrziate de vibrațiile care le întrec.

*Problema 18.* Dacă în două vase de sticlă cilindrice mari, înalte și întoarse suspendăm două termometre mici în așa fel ca să nu atingă vasele și scoatem aerul dintr-unul din vase, iar vasele astfel aranjate le transportăm dintr-un loc rece într-unul cald, termometrul care se află *in vacuo* se va răci tot atît de mult și tot atît de repede ca și cel care nu este *in vacuo*. Iar dacă vasele sînt duse înapoi în locul rece, termometrul din vid se va răci tot așa de

repede ca și celălalt. Nu se comunică oare căldura încăperii calde prin *vacuum* prin intermediul vibrațiilor unui mediu mai subtil decât aerul, care, după ce a fost scos aerul rămîne *in vacuum*? Acest mediu nu e același cu mediul în care se refractă și se reflectă lumina și prin ale cărui vibrații lumina comunică corpurilor căldură și este pusă în accese de ușoară reflexie și ușoară transmisie? Vibrațiile acestui mediu în corpurile calde nu contribuie la intensitatea și la durata căldurii lor? Iar corpurile calde nu-și comunică căldura corpurilor vecine reci prin vibrațiile acestui mediu propagate de la ele la cele reci? Nu este acest mediu cu mult mai rar și mai subtil decât aerul și peste măsură mai elastic și mai activ? Nu pătrunde el repede toate corpurile? Și nu se răspîndește (datorită forței sale elastice) prin toate cerurile?

*Problema 19.* Refracția luminii nu provine din densitățile diferite ale acestui mediu eteric în locuri diferite, lumina îndepărtîndu-se încontinuu de părțile mai dense ale mediului? Densitatea acestuia nu e mai mare în spațiile libere și deschise golite de aer și de alte corpuri mai mari decât în porii de apă, sticlă, cristal, pietre prețioase și alte corpuri compacte? Căci, dacă lumina trece prin sticlă sau prin cristal și cade foarte oblic pe suprafața lui mai îndepărtată și se reflectă total, reflexia totală trebuie să provină mai degrabă din densitatea și puterea mediului din afară și dincolo de sticlă decât din raritatea și slăbiciunea lui.

*Problema 20.* Acest mediu eteric, ieșind din apă, sticlă, cristal și alte corpuri compacte și dense în spații goale, nu devine treptat din ce în ce mai dens și prin acest mijloc refractă razele de lumină nu numai într-un punct, ci le îndoaie treptat în linii curbe? Iar condensarea treptată a acestui mediu nu se extinde la o anumită distanță de la corpuri și nu produce acolo inflexiunea razelor de lumină care trec pe la marginea corpurilor dense la o anumită distanță de corpuri?

*Problema 21.* Acest mediu nu este mai rar în interiorul corpurilor mai dense ale Soarelui, stelelor, planetelor și cometelor decât în spațiile cerești goale dintre ele? Și, îndepărtîndu-se de ele la distanțe mari, nu devine încontinuu din ce în ce mai dens și deci cauzează gravitația reciprocă a respectivelor corpuri mari și a părților lor către centru, tinzînd pentru fiecare corp să meargă de la părțile mai dense spre cele mai rare? Într-adevăr dacă acest mediu este mai rar în corpul Soarelui decât la suprafața sa și mai rar aici decât la distanța de a suta parte dintr-un inch de corpul său, iar acolo

mai rar decît la o distanță de a cincizecea parte dintr-un inch de la corpul său și mai rar acolo decît pe orbita lui Saturn, nu vîd nici un motiv pentru care creșterea densității s-ar opri undeva și nu s-ar continua mai repede pe toate distanțele de la Soare la Saturn și mai departe. Cu toate că această creștere a densității poate să fie la distanțe mari excesiv de înceată, totuși, dacă forța elastică a acestui mediu este excesiv de mare, ea poate fi suficientă pentru a împinge corpurile de la părțile mai dense ale mediului spre cele mai rare cu întreaga putere pe care o numim *gravitație*. Forța elastică a acestui mediu, care este extrem de mare, se poate deduce din viteza vibrațiilor sale. Sunetul se propagă cu aproximativ 1 140 de picioare engleze pe secundă, iar în șapte sau opt minute parcurge vreo sută de mile engleze\*. Lumina vine de la Soare la noi în vreo șapte sau opt minute, adică parcurge o distanță de vreo 70 000 000 de mile engleze, presupunînd că paralaxa orizontală a Soarelui e de vreo 12''. Pentru ca vibrațiile sau pulsațiile acestui mediu să poată cauza accesele alternative de ușoară transmisie și ușoară reflexie, ele trebuie să fie mai iuți decît lumina și, în consecință, de peste 700 000 de ori mai iuți decît sunetul. Prin urmare, forța elastică a acestui mediu în raport cu densitatea lui trebuie să fie de peste  $700\,000 \times 700\,000$  (adică de peste 490 000 000 000) de ori mai mare decît forța elastică a aerului în raport cu densitatea sa. Căci vitezele pulsațiilor mediilor elastice sînt în raportul\*\* rădăcinii pătrate a elasticităților și rarefierilor mediilor luate împreună.

După cum atracția este mai intensă în magnetii mici decît în cei mari proporțional cu mărimea lor, iar gravitatea este mai mare la suprafețele planetelor mici decît la ale celor mari proporțional cu mărimea lor, corpurile mici se agită cu mult mai mult prin atracția electrică decît cele mari; la fel micimea razelor de lumină poate contribui foarte mult la puterea agentului prin care se refractă. Astfel, dacă cineva ar presupune că *eterul* (ca aerul nostru) poate conține particule care încearcă să se depărteze una de alta (fiindcă eu nu știu ce este acest eter) și că particulele sale sînt cu mult mai mici decît ale aerului sau chiar decît ale luminii, micimea excesivă a particulelor sale poate contribui la mărimea forței prin care

---

\* Mila engleză, sau britanică = 1 609 m, se deosebește de mila de Londra = 1 524 m.

\*\* Exprimă formula lui Newton pentru viteza  $v$  a sunetului,  $v = \sqrt{\frac{E}{d}}$ , unde  $E$  este modulul de elasticitate, iar  $d$  densitatea mediului.

acele particule se pot îndepărta una de alta și deci să facă acel mediu excesiv mai rar și mai elastic decât aerul, și, în consecință, cu mult mai puțin capabil să reziste la mișcările proiectilelor și mult mai puțin capabil să apese asupra corpurilor mari, căutînd să se dilate el însuși.

*Problema 22.* Planetele, cometele și toate corpurile mari nu se pot mișca mai liber și cu rezistență mai mică în acest mediu eteric decât în oricare fluid, care umple exact întreg spațiul fără să lase pori și, în consecință, este cu mult mai dens decât mercurul sau aurul ? Iar rezistența acestui mediu nu este, nu poate fi atît de mică încît să nu fie luată în considerare. De exemplu, dacă acest *eter* (căci așa vreau să-l numesc) îl presupunem de 700 000 de ori mai elastic decât aerul nostru și de peste 700 000 de ori mai rar, rezistența lui va fi de peste 600 000 000 de ori mai mică decât a apei. O rezistență atît de mică abia ar putea produce vreo modificare sensibilă în mișcările planetelor în zece mii de ani. Dacă cineva ar întreba cum poate fi un mediu atît de rar, să-mi spună cum poate fi aerul în părțile superioare ale atmosferei mai bine de o sută de mii de ori mai rar ca aurul. De asemenea să-mi spună în ce fel poate un corp electric emite prin frecare o exhalatie atît de rară și de subtilă și totuși atît de puternică încît prin emisia ei să nu cauzeze nici o micșorare sensibilă a greutateii corpului electric și să se răspîndească printr-o sferă al cărei diametru este de peste două picioare și totuși să fie capabilă să miște și să ridice o foiță de cupru la o distanță de mai bine de un picior de la corpul electrizat ? Și cum pot fi efluviile unui magnet atît de rare și de subtile încît să treacă printr-o placă de sticlă fără nici o rezistență sau micșorare a forței lor și totuși atît de puternic încît să învîrtească un ac magnetic de cealaltă parte a sticlei ?

*Problema 23.* Vederea nu este oare produsă mai ales de vibrațiile acestui mediu, excitate în fundul ochiului de razele de lumină și propagate prin fibrele solide, transparente și uniforme ale nervilor optici pînă la locul senzației ? Iar auzul nu este produs de vibrațiile fie ale acestuia sau ale unui alt mediu excitate în nervii auditivi prin tremurările aerului și propagate prin fibrele solide, transparente și uniforme ale acelor nervi pînă la locul senzației ? Și la fel despre celelalte simțuri.

*Problema 24.* Mișcarea animală nu este produsă de vibrațiile acestui mediu excitate în creier de puterea voinței și propagate de acolo prin fibrele solide, transparente și uniforme ale nervilor pînă la mușchi pentru a-i contracta și dilata ? Eu presupun că fiecare

fibră a nervilor este solidă și uniformă, că mișcarea vibratorie a mediului eteric se poate propaga de-a lungul lor de la un capăt la celălalt în mod uniform și fără întrerupere; căci obstrucții în nervi creează paralizii. Pentru ca ele să fie suficient de uniforme, eu le presupun a fi transparente cînd sînt privite separat, deși reflexiile pe suprafețele lor cilindrice pot face ca nervul întreg (compus din mai multe fibre) să apară opac și alb. Căci opacitatea provine de la suprafețele reflectatoare, în așa fel că pot deranja și întrerupe mișcările acestui mediu.

*Problema 25.* Nu există și alte proprietăți originale ale razelor de lumină în afară de cele deja descrise? Un exemplu de altă proprietate originală îl avem la refracția cristalului de Islanda, descrisă mai întîi de *Erasmus Bartholinus*,\* și după aceea cu mult mai exact de *Huygenius* în cartea sa *De la lumière*. Cristalul de Islanda este o piatră transparentă ce se poate despica ușor, clară ca apa sau ca cristalul de stîncă și fără culoare; el poate fi încălzit la roșu fără să-și piardă transparența, iar la o căldură intensă calcinează fără a se topi. Înmuiați o zi sau două în apă, își pierde lustrul natural. Fiind frecat cu postav atrage fire de pai și alte corpuri ușoare, la fel ca chihlimbarul sau sticla, iar cu *aqua fortis* \*\* intră în fierbere. El pare a fi o specie de talc și se găsește sub formă de paralelipiped oblic cu șase fețe paralelogramice și opt unghiuri solide. Unghiurile obtuze ale paralelogramelor au fiecare 101 grade și 52 de minute, iar cele ascuțite 78 de grade și 8 minute. Două dintre unghiurile solide opuse unul altuia, ca *C* și *E* (fig. 4), sînt compuse fiecare din trei dintre aceste unghiuri obtuze, iar fiecare din celelalte șase dintr-unul obtuz și două ascuțite. Clivează ușor în plane paralele cu fiecare din fețele sale, dar nu mai clivează după nici un alt plan. Clivînd, dă o suprafață lucie, netedă, care nu este perfect plană, ci are unele mici inegalități. Se zgîrie ușor, iar din cauză că e moale cu greu se poate șlefui. El se șlefuieste mai bine pe o oglindă de sticlă decît pe metal și probabil chiar mai bine pe smoală, piele sau pergament. După aceea trebuie frecat cu puțin ulei sau cu albuș de ou ca să i se umple zgîrieturile; prin aceasta va deveni foarte transparent și neted. Pentru multe experiențe însă nu e necesar să-l șlefuiim. Dacă punem o bucată de un astfel de cristal pe o carte, fiecare literă a cărții privită prin el va apare dublă în urma dublei refracții. Dacă un fascicul de lumină cade fie perpendicular, fie

\* Erasmus Bartholinus, *Experimentis Chrystalii Islandici Disdiacastici*, 1609.

\*\* *Acidum nitricum crudum*, apă tare.

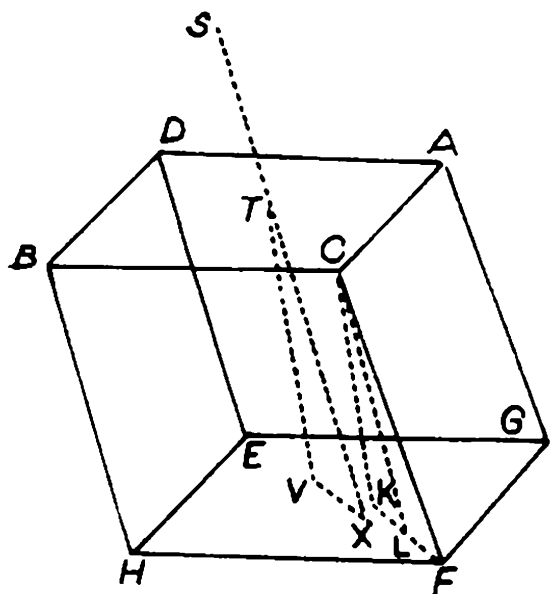


Fig. 4

sub un unghi oblic pe vreo suprafață a acestui cristal, el se împarte în două fascicule din cauza aceleiași duble refracții. Aceste fascicule au aceeași culoare ca fasciculul de lumină incidentă și par a fi egale între ele sau aproape egale. Una dintre aceste refracții se face după legile ordinare ale opticii, sinusul de incidență din aer în cristal fiind către sinusul de refracție în raportul  $5/3$ . Cealaltă refracție, care se poate numi refracție extraordinară, se face după regula următoare.

Fie  $ADBC$  suprafața refractatoare a cristalului,  $C$  unghiul solid cel mai mare la această suprafață,  $GEHF$  suprafața opusă, iar  $CK$  o perpendiculară pe acea suprafață. Această perpendiculară face cu muchia  $CF$  a cristalului un unghi de  $19$  grade și  $3$  min. Să unim  $KF$  și pe ea să luăm  $KL$ , astfel ca unghiul  $KCL$  să fie de  $6$  grade și  $40$  min, iar unghiul  $LCF$  de  $12$  grade și  $23$  min. Dacă  $ST$  reprezintă un fascicul de lumină incidentă în  $T$  sub un unghi oarecare pe suprafața refractatoare  $ADBC$ , fie  $TV$  fasciculul refractat determinat de raportul dat al sinusurilor  $5/3$  potrivit regulii obișnuite a opticii. Să trasăm  $VX$  paralelă și egală cu  $KL$ . S-o trasăm în același fel față de  $V$  cum era  $L$  față de  $K$ . Unind  $T$  cu  $X$ , această linie va fi celălalt fascicul refractat dus din  $T$  la  $X$  prin refracția extraordinară.

Prin urmare, dacă fasciculul incident  $ST$  este perpendicular pe suprafața refractatoare, cele două fascicule  $TV$  și  $TX$  în care se va despărți vor fi paralele cu liniile  $CK$  și  $CL$ , unul dintre aceste fascicule trecând perpendicular prin cristal, după cum ar trebui după legile obișnuite ale opticii, iar celălalt  $TX$  printr-o refracție extraordinară ce se abate de la perpendiculară și face cu ea un unghi  $VTX$  de aproximativ  $6\frac{2}{3}$  grade, după cum s-a găsit prin experiență. De aceea planul  $VTX$  și planele asemănătoare paralele cu planul  $CFK$  se pot numi plane de reflexie perpendiculară. Latura spre care sînt trasate liniile  $KL$  și  $VX$  poate fi numită latura de refracție extraordinară.

La fel cristalul de stîncă prezintă o dublă refracție; dar deosebirea celor două refracții nu e atît de mare și de evidentă ca în cristalul de Islanda.

Cînd fasciculul incident  $ST$  pe cristalul de Islanda se desparte în două fascicule  $TV$  și  $TX$  și aceste două fascicule sosesc la suprafața posterioară a sticlei, fasciculul  $TV$ , care s-a refractat extraordinar la suprafața întîi, se va refracta din nou complet extraordinar la suprafața a doua, astfel că ambele fascicule vor ieși din suprafața a doua în linii paralele cu primul fascicul incident  $ST$ .

Dacă cele două bucăți de cristal de Islanda se așază una după alta în așa fel ca toate suprafețele celei de-a doua să fie paralele cu toate suprafețele corespunzătoare ale celei dintîi, razele care s-au refractat ordinar la întîia suprafață a primului cristal se vor refracta ordinar la suprafețele următoare, iar razele care s-au refractat ordinar la prima suprafață se vor refracta extraordinar la suprafețele următoare. Același lucru se întîmplă și atunci cînd suprafețele cristalelor sînt înclinate una față de alta, cu condiția ca planele lor de refracție perpendiculară să fie paralele între ele.

În consecință, există o deosebire inițială în razele de lumină, datorită căreia unele raze sînt în această experiență în mod constant refractate ordinar, iar altele constant extraordinar; căci, dacă diferența nu e de la început, ci provine din modificări noi imprimare razelor la prima lor refracție, ea ar fi alterată prin modificări noi în cele trei refracții următoare; dar ea nu suferă nici o alterare, ci este constantă și are același efect asupra razelor în toate refracțiile. Prin urmare, refracția extraordinară e produsă de o proprietate inițială a razelor. Rămîne să se cerceteze dacă ele nu au mai multe proprietăți de acest fel decît cele descoperite pînă acum.

*Problema 26.* Razele de lumină nu au oare diferite laturi dotate cu diferite proprietăți originare? Căci dacă planele de refracție perpendiculară ale cristalului al doilea formează un unghi drept cu planele de refracție perpendiculară a primului cristal, razele ce se refractă ordinar trecînd prin primul cristal vor fi refractate extraordinar la trecerea lor prin cristalul al doilea, iar razele care se refractă extraordinar trecînd prin primul cristal se vor refracta ordinar la trecerea prin cristalul al doilea. Prin urmare, nu sînt două feluri de raze diferind între ele prin natura lor, dintre care una se refractă constant și în toate pozițiile ordinar, iar cealaltă constant și în toate pozițiile extraordinar. Deosebirea dintre cele două feluri de raze din experiența menționată în problema 25 constă numai în pozițiile laturilor razelor față de planele de refracție per-



pendiculară. Într-adevăr, una și aceeași rază se refractă uneori ordinar, iar alteori extraordinar, potrivit poziției pe care le au laturile sale față de cristale. Dacă laturile razei au aceeași poziție față de ambele cristale, ea se refractă la fel în amîndouă; dacă însă latura razei îndreptată spre fața de refracție extraordinară a primului cristal formează un unghi de 90 de grade cu latura aceleiași raze îndreptată spre fața de refracție extraordinară a cristalului al doilea (ceea ce se poate realiza variind poziția cristalului al doilea față de a celui dintîi și, în consecință, față de razele de lumină), raza se va refracta în diferite feluri în diversele cristale. Aici nu se mai cere să se determine dacă razele de lumină ce cad pe cristalul al doilea se vor refracta ordinar sau extraordinar, ci să se rotească cristalul în așa fel ca fața lui de refracție extraordinară să fie de o parte sau de cealaltă parte a razei. Deci fiecare rază poate fi considerată ca avînd patru laturi sau sferturi, dintre care două, opuse una celeilalte, înclină raza ca să se refracte extraordinar ori de cîte ori una sau alta din ele este îndreptată spre latura de refracție extraordinară. Celelalte două, ori de cîte ori una dintre ele este îndreptată spre latura de refracție extraordinară, nu o înclină să se refracte altfel decît după cea ordinară. Prin urmare, primele două se pot numi laturi de refracție extraordinară. Fiindcă aceste dispoziții existau în raze înainte ca ele să cadă pe suprafața a doua, a treia și a patra a celor două cristale și nu sufereau nici o modificare (cel puțin în aparență) prin refracția razelor la trecerea lor prin acele suprafețe, iar razele se refractau după aceleași legi la toate cele patru suprafețe, este evident că acele dispoziții erau originare în raze și nu sufereau nici o schimbare la prima refracție și că prin mijlocirea acelor dispoziții razele se refractau la incidența lor pe întîia suprafață a primului cristal unele ordinar, iar altele extraordinar, după cum laturile lor de refracție extraordinară erau îndreptate spre fața de refracție extraordinară a cristalului sau alături de ea.

Așadar, orice rază de lumină posedă două laturi opuse înzestrate inițial cu o proprietate de care depinde refracția extraordinară și alte două laturi opuse reînzestrate cu această proprietate. Mai rămîne să se cerceteze dacă nu sînt și alte proprietăți ale luminii prin care diferă laturile razelor și se deosebesc una de alta.

La explicarea deosebirii dintre laturile razelor menționate mai sus am presupus că razele cad perpendicular pe primul cristal. Dar și dacă cad oblic rezultatul este același. Razele ce se refractă ordinar în primul cristal se vor refracta extraordinar în al doilea, admițînd

că planele de refracție perpendiculară formează între ele unghiuri drepte ca mai sus și invers.

Dacă planele de refracție perpendiculară nu sînt nici paralele, nici perpendiculare una pe cealaltă, ci cuprind un unghi ascuțit, cele două fascicule de lumină ce ies din primul cristal se vor despărți la fiecare dintre ele în alte două la incidența lor pe cristalul al doilea. În acest caz, razele din fiecare dintre cele două fascicule își au unele laturile de refracție extraordinară, iar altele celelalte laturi îndreptate spre fața de refracție extraordinară a cristalului al doilea.

*Problema 27.* Nu sînt eronate oare toate ipotezele imaginate pînă acum pentru a explica fenomenele luminii prin modificarea razelor? Căci acele fenomene nu depind de noi modificări, după cum s-a presupus, ci de proprietățile originare și neschimbătoare ale razelor.

*Problema 28.* Nu sînt eronate oare toate ipotezele în care se presupune că lumina constă dintr-o presiune sau mișcare propagată printr-un mediu fluid? \* Într-adevăr, în toate aceste ipoteze fenomenele luminoase au fost pînă acum explicate presupunînd că ele provin din noi modificări ale razelor, ceea ce e o presupunere greșită.

Dacă lumina ar consta numai într-o presiune propagată fără o mișcare actuală, nu ar fi în stare să agite și să încălzească corpurile care o refractă și o reflectă. Dacă ar consta într-o mișcare propagată la orice distanță instantaneu, ea ar pretinde în fiecare moment o forță infinită în fiecare particulă luminoasă ca să producă acea mișcare. Iar dacă ar consta într-o presiune sau mișcare ce se propagă fie instantaneu, fie în timp, s-ar curba în umbră. Căci presiunea sau mișcarea nu se poate propaga într-un fluid în linii drepte dincolo de un obstacol care oprește o parte a mișcării, ci se va curba și împrăștia în toate părțile în mediul liniștit ce se află dincolo de obstacol. Gravitatea acționează în jos, dar apăsarea apei care provine din gravitație este în toate direcțiile cu o forță egală și se propagă ușor și cu aceeași forță în lături ca și în jos și prin căi întortocheate ca și prin cele drepte. Undele de la suprafața unei ape liniștite, trecînd pe lîngă un obstacol larg care oprește o parte din ele, se curbează și se dilată treptat în apa liniștită de după obstacol. Undele, pulsațiile sau vibrațiile aerului din care constă sunetul se curbează în mod evident, deși nu atît de mult ca undele de apă. Un clopot sau un tun se pot auzi dincolo de o colină care interceptează vederea corpului sonor și sunetul se propagă tot atît de ușor prin tuburile îndoite ca și prin cele drepte. Dar niciodată nu s-a văzut

---

\* Aluzie mai ales la teoria luminii a lui Descartes.

lumina urmînd drumuri întortocheate sau îndoindu-se în umbră. Într-adevăr, stelele fixe încetează a fi văzute prin interpunerea oricărei planete în calea lor. La fel se întîmplă cu unele părți ale Soarelui la interpunerea Lunii, a lui Mercur sau a lui Venus. Razele care trec foarte aproape de marginile unui corp se curbează puțin datorită acțiunii corpului, după cum am văzut mai sus; această curbare însă nu este spre umbră, ci de la umbră, și are loc numai la trecerea razei pe lîngă corp și la o distanță foarte mică de el. Îndată ce raza a trecut de corp, ea merge drept.

Nimeni nu a încercat pînă acum (după cît știu) să explice refracția extraordinară a cristalului de Islanda printr-o presiune sau mișcare propagată, cu excepția lui Huygens, care în acest scop a admis două medii vibratoare diferite în interiorul acestui cristal. Dar cînd a examinat refracția în două bucăți succesive ale acelui cristal și le-a aflat așa cum le-am menționat mai sus, el a recunoscut că nu e în stare să le explice. Căci presiunile sau mișcările propagate de la un corp luminos printr-un mediu uniform trebuie să fie la fel în toate părțile, pe cînd din acele experiențe rezultă că razele de lumină au proprietăți diferite în diversele lor părți. El bănuia că pulsațiile eterului la trecerea lor prin primul cristal pot suferi anumite modificări noi, care le pot determina să se propage în mediul acesta sau în altul în interiorul cristalului al doilea după poziția acelui cristal. Însă nu putea spune ce fel de modificări pot fi acelea, nici imagina ceva satisfăcător asupra acestui punct. Dacă ar fi știut că refracția extraordinară nu depinde de noi modificări, ci de dispozițiile originare și imuabile ale razelor, ar fi întîmpinat tot atîta dificultate ca să explice în ce fel dispozițiile pe care le presupunea că sînt imprimare razelor de primul cristal s-ar putea afla în ele înaintea incidenței lor pe celălalt cristal și, în general, în ce fel pot avea toate razele emise de corpurile luminoase în ele acele dispoziții de la început. Cel puțin pentru mine aceasta pare inexplicabil dacă lumina nu este altceva decît presiune sau mișcare propagată prin *eter*.

De asemenea este greu să se explice prin aceste ipoteze cum pot fi razele alternativ în accese de ușoară reflexie și de ușoară transmisie decît dacă, probabil se poate presupune că în fiecare spațiu se află două medii eterice vibratoare și că vibrațiile unuia dintre ele constituie lumina, iar vibrațiile celuilalt sînt mai rapide și ori de cîte ori întrec vibrațiile celui dintîi le pun în aceste accese. Este însă de neconceput în ce fel se pot difuza prin tot spațiul două eteruri, unul acționînd asupra celuilalt și în consecință fiind reacționat de el, fără ca mișcările să se întîrzie, zguduie, disperseze și confunde reciproc.

Împotriva umplerii cerurilor cu medii fluide dacă nu cumva acestea sînt excesiv de rare, se ivește o importantă obiecție din mișcările regulate și statornice ale planetelor și cometelor în mersurile lor diferite prin ceruri. De aici este evident că cerurile sînt lipsite de orice rezistență sensibilă și, în consecință, de orice materie sensibilă.

Într-adevăr, puterea de rezistență a mediilor fluide provine parte din frecarea părților mediului și parte din *vis inertiae*\* a materiei. Acea parte a rezistenței unui corp sferic care se naște din frecarea părților mediului este foarte aproximativ precum diametrul sau cel mult ca *factum*-ul\*\* diametrului și al vitezei corpului sferic luate împreună, iar acea parte a rezistenței care se naște din *vis inertiae* a materiei este proporțională cu pătratul acelui *factum*. Cele două feluri de rezistență se pot distinge una de alta în orice mediu prin această diferență și, fiind distincte, se va găsi că aproape întreaga rezistență a corpurilor de o mărime potrivită care se mișcă în aer, apă, mercur și alte fluide asemănătoare cu o viteză convenabilă, provine din *vis inertiae* a părților fluidului.

Acea parte a puterii de rezistență a vreunui mediu care ia naștere din tenacitatea, frecarea sau viscozitatea părților mediului poate fi diminuată prin diviziunea materiei în părți mici și făcînd părțile mai netede și mai alunecoase; acea parte însă care provine din *vis inertiae* este proporțională cu densitatea materiei și nu poate fi micșorată prin diviziunea materiei în părți mai mici prin vreun alt mijloc decît prin descreșterea densității mediului. Din aceste motive, densitatea mediilor fluide este foarte aproape proporțională cu rezistența lor. Lichide care nu diferă mult în densitate, ca apa, spirtul de vin, spirtul de terebentină, uleiul cald, nu se deosebesc mult ca rezistență. Apa este de treisprezece sau patrusprezece ori mai ușoară decît mercurul și, în consecință, de treisprezece sau patrusprezece ori mai rară, iar rezistența ei este mai mică decît a mercurului în același raport sau aproape același, după cum am constatat prin experiențele făcute cu pendule\*\*\*. Aerul liber pe care-l respirăm este de opt sau nouă sute de ori mai ușor decît apa și, în consecință, de opt sau nouă sute de ori mai rar; de aceea rezistența sa este mai mică decît a apei în același

---

\* Forța de inerție, sau forța care rezidă în materie, este definită de Newton ca „puterea de rezistență cu care un corp, întrucît depinde de el, persistă în starea sa de repaus sau de mișcare uniformă și rectilinie“ (I. N e w t o n , *Principiile matematice ale filozofiei naturale*, definiția III).

\*\* Probus.

\*\*\* I. N e w t o n , *Principii*, cartea II, secțiunea II.

raport sau aproape același, după cum de asemenea am constatat prin experiențe efectuate cu pendule. Într-un aer mai rar rezistența este și mai mică și, încă rarefiindu-l, devine insensibilă. Căci penele mici care cad în aer liber întâmpină o mare rezistență, dar în tuburi bine golite de aer ele cad tot atât de repede ca plumbul sau aurul, după cum am văzut experimentându-se de mai multe ori. De aceea se pare că și rezistența descrește proporțional cu densitatea fluidului. Într-adevăr nu am constatat prin nici o experiență că acele corpuri care se mișcă în mercur, apă sau aer întâmpină altă rezistență decât cea născută din densitatea și viscozitatea acelor fluide, cum s-ar întâmpla dacă porii acelor fluide și alte spații oarecare ar fi umplute cu un fluid dens și subtil. Dacă rezistența într-un vas bine golit de aer nu ar fi decât de o sută de ori mai mică decât în aer liber, ea ar fi cam de un milion de ori mai mică decât în mercur. Se pare încă că este cu mult mai mică decât într-un astfel de vas și chiar cu mult mai mică în ceruri la o înălțime de trei sau patru sute de mile de la Pământ sau mai sus. De fapt *d. Boyle\** a arătat că aerul se poate rarefia mai bine de trei mii de ori în vase de sticlă, iar cerurile sînt cu mult mai lipsite de aer decât orice *vacuum* pe care-l putem face. Într-adevăr deoarece aerul este comprimat de greutatea atmosferei, iar densitatea lui este proporțională cu forța care-l apasă, după calcul urmează că la o altitudine de vreo 7 1/2 mile engleze de Pământ aerul este de patru ori mai rar decât la suprafața Pământului și la altitudinea de 15 mile el este de șasesprezece ori mai rar decât la suprafața Pământului, la altitudinile de  $22 \frac{1}{2}$ , 30 sau 38 de mile este respectiv de 64,256 sau 1 024 de ori mai rar sau aproximativ; la altitudinile de 76,152, 228 de mile este de aproximativ 1 000 000, 1 000 000 000 000 sau 1 000 000 000 000 000 000 de ori mai rar și așa mai departe.

Căldura produce fluiditatea foarte mult, diminuînd tenacitatea corpurilor. Ea face fluide multe corpuri care reci nu erau fluide și mărește fluiditatea lichidelor vîscoase ca uleiul, balsamul și mierea și deci le micșorează rezistența. Dar nu micșorează considerabil rezistența apei, cum s-ar întâmpla dacă o mare parte a rezistenței apei ar proveni din frecarea sau tenacitatea părților sale. Prin urmare, rezistența apei se naște în primul rînd și aproape complet din *vis inertiae* a materiei sale; în consecință, dacă cerurile ar fi așa de dense ca apa, ele nu ar avea o rezistență cu mult mai mică decât apa; dacă ar fi așa de dense ca mercurul, n-ar avea o rezistență cu mult mai

\* R. Boyle, *New expresiments, Physico-Mechanical touching the Spring, of the Air and its effects*, 1660.

mică decît mercurul ; dacă ar fi absolut densă sau plină cu materie fără nici un *vacuum*, oricît de subtilă și de fluidă ar fi această materie, ea ar avea o rezistență mai mare decît mercurul. O sferă solidă într-un astfel de mediu și-ar pierde peste jumătate din mișcare, deplasîndu-se pe triplul lungimii diametrului său, iar o sferă care nu este solidă (cum sînt planetele) s-ar opri mai repede. Prin urmare, pentru a asigura mișcările regulate și durabile ale planetelor și ale cometelor este necesar ca cerurile să fie goale de orice materie, cu excepția, probabil, a unor vapori rari, aburi sau efluvii care provin din atmosfera Pămîntului, planetelor și cometelor și dintr-un astfel de mediu eteric extrem de rar, așa cum l-am descris mai sus. Un fluid dens nu poate fi de nici un folos la explicarea fenomenelor naturii, mișcările planetelor și ale cometelor fiind mai bine explicate fără el. El nu servește decît să deranjeze și să întîrzie mișcările acelor corpuri mari și să facă să încetinească structura naturii, iar în porii corpurilor acest fluid servește numai să împiedice mișcările vibratorii ale părților lor, de care depinde căldura și activitatea lor. În acest fel el nu este de nici un folos și împiedică fenomenele naturii, făcîndu-le să întîrzie ; de aceea, nefiind evidentă existența lui, trebuie respins. Dacă îl respingem, se înlătură și ipotezele că lumina constă dintr-o presiune sau mișcare propagată printr-un astfel de mediu.

Pentru a respinge un astfel de mediu avem autoritatea acelor mai celebri filozofi antici ai *Greciei* și *Feniciei*, care au pus *vacuum*-ul atomii și greutatea atomilor drept primele principii ale filozofiei lor, atribuind în mod tacit greutatea unei alte cauze decît materia densă. Filozofii de mai târziu au eliminat considerația unor astfel de cauze din filozofia naturală, imaginînd ipoteze pentru explicarea mecanică a tuturor lucrurilor și trimiterea celorlalte cauze la metafizică, în timp ce problema fundamentală a filozofiei naturale este să argumenteze prin fenomene fără ca să imagineze ipoteze și să deducă cauzele din efecte pînă ce se ajunge la adevărata cauză primă, care desigur, nu este mecanică, și nu numai să explice mecanismul naturii, ci mai ales să rezolve aceste chestiuni și altele asemănătoare. Ce se află în spațiul aproape gol de materie și de ce Soarele și planetele gravitează unele spre celelalte fără materie densă între ele ? De unde rezultă că natura nu face nimic în zadar și de unde se naște acea ordine și frumusețe pe care o vedem în lume ? Ce rost au cometele și cum se face că toate planetele se mișcă într-unul și același sens pe orbite concentrice, în timp ce cometele se mișcă în toate felurile pe orbite foarte excentrice. Ce oprește stelele fixe să nu cadă unele peste altele ? Cum au ajuns corpurile animale să fie alcătuite cu atîta artă și ce scop au diferitele

lor părți? Ochiul a fost compus fără nici o îndemînare în optică și urechea fără nici o cunoaștere a sunetului? Cum rezultă mișcările corpului din voință și de unde provine instinctul animalelor? Nu este *sensorium*-ul animalelor locul în care rezidă substanța senzitivă și la care se duc speciile sensibile ale lucrurilor prin nervi și creier astfel că acolo ele pot fi percepute prin prezența lor imediată la această substanță? Aceste lucruri fiind corect explicate din fenomene, nu rezultă că există o ființă necorporală, vie, inteligentă, omniprezentă, care în spațiul infinit, ca și cînd ar fi în *senzorium*-ul său, vede însuși lucrurile în mod intim și deci le percepe și înțelege complet prin prezența lor imediată? Imaginile acestor lucruri transmise numai prin organele simțurilor în micile noastre *sensorium*-uri sînt acolo văzute și contemplate de ceea ce în noi percepe și gîndește. Și cu toate că fiecare pas adevărat făcut în această filozofie nu ne duce imediat la cunoașterea cauzei prime, totuși, ne apropie tot mai mult de ea și din acest motiv trebuie mult apreciată.

*Problema 29.* Nu sînt oare razele de lumină corpuri foarte mici emise de substanțele luminoase? Căci astfel de corpuri vor trece prin mediile uniforme în linii drepte fără a se curba în umbră, așa cum este natura razelor de lumină. Ele vor avea diferite proprietăți și vor fi în stare să se conserve proprietățile neschimbate la trecerea lor prin diverse medii, ceea ce este o altă condiție a razelor de lumină. Substanțele transparente acționează asupra razelor la distanță, refractîndu-le curbîndu-le, iar razele agită reciproc părțile acelor substanțe la distanță, încălzindu-le; această acțiune și reacțiune la distanță seamănă foarte mult cu forța de atracție dintre corpuri. Dacă refracția este provocată de atracția razelor, sinusurile de incidență trebuie să fie față de sinusurile de refracție într-un raport dat, după cum am arătat în cartea noastră *Principii de filozofie*\*, această regulă este verificată de experiență. Razele de lumină, ieșind din sticlă *in vacuum*, se curbează spre sticlă, iar dacă cad prea oblic pe *vacuum* sînt curbate înapoi în sticlă și se reflectă total; această reflexie nu se poate atribui rezistenței unui *vacuum* absolut, ci trebuie să fie cauzată de puterea cu care sticla atrage razele la trecerea lor din ea în *vacuum* și le aduce înapoi. Dacă udăm ultima suprafață a sticlei cu apă sau cu ulei limpede ori cu miere lichidă și clară, razele care altfel ar fi reflectate vor intra în apă, ulei sau miere și deci nu se reflectă înainte de a ajunge la ultima suprafață a sticlei astfel să iasă din ea. Dacă razele ies din sticlă în apă, ulei sau miere, ele vor trece

---

\* Cartea I, propoziția XCIV.

mai departe, fiindcă atracția sticlei este aproape echilibrată și redusă la ineficacitatea de atracția contrară a lichidului. Dacă însă ele intră în *vacuum*, care nu posedă nici o atracție care să echilibreze atracția sticlei, aceasta sau le curbează sau le refractă ori le aduce înapoi și le reflectă. Faptul acesta este și mai evident dacă alăturăm două sticle-obiectiv pentru telescoape foarte lungi, una plană, cealaltă puțin convexă, presîndu-le în așa fel ca să nu se atingă complet, dar nici să nu fie prea depărtate una de alta. Într-adevăr, lumina care cade pe ultima suprafață a primei sticle, acolo unde intervalul dintre sticlă nu trece de o zecime de sutime de miime de inch, va trece prin acea suprafață și prin *vacuum*-ul dintre sticle și va intra în sticla a doua, după cum am explicat în observațiile a 1-a, a 4-a și a 8-a din partea întâi a cărții a II-a. Dacă însă îndepărtăm sticla a doua, lumina care iese din suprafața a doua a primei sticle în aer sau *vacuum* nu va trece înainte, ci se va întoarce înapoi în prima sticlă și se va reflecta; așadar, prin puterea primei sticle lumina va fi întoarsă înapoi, nefiind altceva care s-o întoarcă. Pentru producerea tuturor varietăților de culori și ale gradelor de refrangibilitate nu se cere decît ca razele de lumină să fie corpuri de diferite mărimi, dintre care cel mai mic să poată produce violetul, cea mai slabă și mai întunecată dintre culori, și să fie mai ușor deviate de suprafețele refractatoare de la drumul drept; iar restul, cu cît sînt mai mari, să poată da culorile cele mai intense și mai luminoase, albastru, verde, galben și roșu, și să poată fi tot mai dificil de deviat. Pentru a pune razele de lumină în accese de ușoară reflexie și ușoară transmisie nu se cere decît ca ele să fie corpuri mici care prin puterile lor atractive sau vreo altă forță să producă vibrații acolo unde cad, iar aceste vibrații, fiind mai rapide decît razele, le depășesc succesiv și le agită astfel că pe rînd le măresc sau le micșorează vitezele, aducîndu-le în acele accese. În sfîrșit, refracția extraordinară în cristalul de Islanda prezintă în mare măsură aparența că ar fi produsă de un fel de dispoziție sau forță atractivă în anumite laturi atît ale razelor, cît și ale cristalului. Dacă nu ar exista vreun fel de dispoziție sau virtutea localizată în anumite laturi ale particulelor cristalului, iar în celelalte nu și care înclină sau curbează razele spre laturile de refracție extraordinară, razele care cad perpendicular pe cristal nu s-ar refracta mai repede spre o latură decît spre alta atît la incidența, cît și la emergența lor, astfel încît razele ies perpendicular cînd există o situație contrară a laturii de refracție extraordinară față de suprafața a doua, cristalul acționînd asupra razelor după ce acestea



au trecut prin el și ies în aer sau dacă vreți, *in vacuum*. Deoarece această dispoziție sau forță a cristalului nu acționează asupra razelor decât dacă una dintre laturile acestora este îndreptată spre latura de refracție extraordinară a cristalului, aceasta dovedește existența unei forțe sau dispoziții corespunzătoare în acele laturi ale razelor și care simpatizează cu forța sau dispoziția cristalului, după cum polii a doi magneți corespund unul altuia. Tot așa cum magnetismul poate fi intensificat sau slăbit și se află numai în magnet și fier, la fel dispoziția de a reflecta razele perpendiculare este mai mare în cristalul de Islanda, mai mică în cristalul de stîncă și nu se întâlnește de loc în alte corpuri; eu nu afirm că această dispoziție ar fi magnetică; ea pare a fi de altă natură. Spun numai că, oricum ar fi, e dificil să concepem modul în care razele de lumină, dacă nu sînt corpuri, pot avea în două laturi ale lor o dispoziție permanentă, pe care nu o au în celelalte laturi, și aceasta fără nici o considerare a poziției lor în spațiu sau în mediul prin care trec.

Din cele spuse în problemele a 18-a, a 19-a și a 20-a se poate vedea ce înțeleg eu în această problemă prin *vacuum* și prin atracția razelor de lumină spre sticlă sau cristal.

*Problema 30.* Corpurile mari și lumina nu se pot transforma unele în altele și corpurile nu pot primi oare o parte însemnată din activitatea lor de la particulele de lumină care intră în compoziția lor? Într-adevăr, toate corpurile fixe, fiind încălzite, emit lumină atîta timp cît continuă să fie suficient de calde și invers, lumina se oprește în corpuri de cîte ori razele ei lovesc părțile acestora, după cum am văzut mai sus. Nu cunosc nici un corp mai puțin capabil de a lumina decât apa, și totuși apa, prin distilări multiple, se transformă în pămînt solid, după cum a arătat d. Boyle. Acest pămînt, fiind în stare să suporte o căldură suficientă, luminează la căldură la fel ca celelalte corpuri.

Transformarea corpurilor în lumină și a luminii în corpuri este cu totul conformă cu mersul naturii, care pare a se complăce în transmutări. Apa, care este o sare foarte fluidă fără gust, se transformă prin căldură în vapori, care sînt un fel de aer, iar prin frig în gheață, care este o piatră dură, transparentă, sfărîmicioasă, fuzibilă, și această piatră se prefăce iarăși în apă prin căldură, iar vaporii se schimbă din nou în apă prin frig. Pămîntul prin căldură devine foc, iar prin frig devine iarăși Pămînt. Corpurile dense se rarefiază prin fermentație în diverse feluri de aer, iar acest aer prin fermentație și uneori fără ea se transformă din nou în corpuri dense. Mercu-

rul apare uneori sub formă de metal fluid, alteori sub formă de metal dur, sfărâmicios, alteori sub formă de sare corozivă transparentă, numită sublimat, alteori sub formă de pământ alb, fără gust, transparent, volatil, numit *mercurius dulcis*, sau sub formă de pământ roșu, opac, volatil, numit cinabru, sau sub aceea a unui precipitat roșu sau alb sau a unei sări fluide, iar prin distilare revine la forma de vapori, iar dacă este agitat *in vacuo*, strălucește ca focul. După aceste schimbări se întoarce din nou la prima sa formă de mercur. Ouăle cresc de la o mărime insensibilă și se transformă în animale, mormolocii în broaște, iar viermii în muște. Toate păsările, animalele și peștii, insectele, arborii și celelalte vegetale, cu diversele lor părți, se dezvoltă din apă, soluții apoase și săruri, iar prin putrefacție devin din nou substanțe apoase. Apa, stînd cîteva zile în aer liber, ia o culoare care (la fel cu a malțului) stînd mai mult produce un sediment și un spirt, dar înainte de putrefacție este o hrană bună pentru animale și vegetale. Printre atîtea transmutări atît de variate și de curioase, de ce să nu poată natura transforma corpurile în lumină și lumina în corpuri?

*Problema 31.* Micile particule ale corpurilor nu au oare anumite puteri, însușiri sau forțe prin care ele acționează la distanță nu numai asupra razelor de lumină pentru a le reflecta, refracta și curba, ci și una asupra celeilalte pentru a produce o mare parte din fenomenele naturii? Într-adevăr, este bine cunoscut faptul că corpurile acționează unul asupra altuia prin atracțiile gravitației, magnetismului și electricității. Aceste exemple indică esența și mersul naturii și fac probabilă existența multor altor forțe de atracție afară de acestea. Căci natura este foarte uniformă și conformă cu ea însăși. Nu analizez aici în ce fel se pot produce aceste atracții. Ceea ce eu numesc atracție se poate produce prin impuls sau prin alte mijloace necunoscute mie. Folosesc aici acest cuvînt numai pentru a desemna în general o forță oarecare prin care corpurile tind unul spre altul, oricare ar fi cauza. Într-adevăr, noi trebuie să învățăm din fenomenele naturii care corpuri se atrag reciproc și care sînt legile și proprietățile atracției înainte de a cerceta cauzele din care ia naștere atracția. Atracțiile gravitației, magnetismului și electricității se extind la distanțe detectabile și de aceea au fost observate de ochiul omenesc, dar pot exista și altele care acționează la distanțe atît de mici încît pînă acum scapă observației; probabil și atracția electrică acționează la distanțe atît de mici chiar fără să fie provocată prin frecare.

Într-adevăr, atunci cînd sarea de tartru curge *per deliquium*\*, aceasta nu se datorește unei atracții dintre particulele sării de tartru și particulele de apă care plutesc în aer sub formă de vapori? De unde rezultă că sarea gemă, salpetrul sau vitriolul nu curg *per deliquium* decît din lipsa unei astfel de atracții? Sau de ce sarea de tartru nu absoarbe mai multă apă din aer decît într-un anumit raport cu cantitatea sa, dacă nu prin lipsa unei forțe atractive după ce s-a saturat cu apă? De unde rezultă, dacă nu din această forță atractivă, faptul că apa care distilează singură la o căldură moderată nu va distila din sarea de tartru fără o căldură mare? Nu există o forță atractivă asemănătoare între particulele de ulei de vitriol și particulele de apă care rezultă din faptul că uleiul de vitriol absoarbe o mare cantitate de apă din aer și după ce s-a saturat nu mai absoarbe și, distilîndu-l, eliberează foarte greu apa? Cînd apa și uleiul de vitriol sînt turnate succesiv în același vas, se încălzesc foarte tare prin amestec. Oare această căldură nu denotă o mare mișcare a particulelor din lichid? Această mișcare nu dovedește că particulele celor două lichide, amestecîndu-se, se unesc cu violență și, în consecință, se mișcă una spre alta cu o mișcare accelerată? Iar cînd *aqua fortis* sau spiritul de vitriol turnate peste pilitura de fier o dizolvă, dezvoltînd o mare căldură prin fierbere acestea nu sînt produse oare de mișcarea violentă a particulelor? Această mișcare nu dovedește că părțile acide ale lichidului se îndreaptă cu violență spre părțile metalului și intră cu forță în porii lui pînă ce pătrund între particulele sale exterioare și în masa principală a metalului și, înconjurînd acele particule, le detașează de masa principală și le pun în libertate, făcîndu-le să plutească în apă? Apoi, cînd particulele acide, care singure distilează cu căldură puțină, nu se separă de particulele metalului fără o căldură foarte mare, aceasta nu confirmă atracția dintre ele?

Cînd spirtul de vitriol turnat peste sarea gemă sau salpetru intră în fierbere cu sarea și se unește cu ea și prin distilare spirtul de sare gemă sau de salpetru se ridică cu mult mai ușor decît o făcea înainte, iar partea acidă a spirtului de vitriol rămîne la fund, aceasta nu dovedește că alcalinul solid al sării atrage spirtul acid al vitriolului mai intens decît spirtul său propriu și, nefiind în stare să le rețină pe amîndouă, îl eliberează pe al său propriu? Cînd uleiul de vitriol se amestecă cu o greutate egală de salpetru și din ambele ingrediente se distilează un spirt de azot compus și se toarnă două părți ale acestui spirt peste ulei de cuișoare sau de sămînță de chimion

---

\* Prin umezire datorită faptului că este higroscopică.

sau de vreun alt ulei greu din substanțe animale sau vegetale ori ulei de terebentină îngroșat cu puțin balsam de sulf, lichidele se încălzesc atît de tare prin amestec încît dau imediat o flacără arzătoare, această căldură enormă și rapidă nu dovedește oare că cele două lichide se amestecă cu violență și că părțile lor, amestecîndu-se, se reped una spre cealaltă cu o mișcare accelerată și se izbesc cu o mare violență? Nu din aceeași cauză spirtul de vin rafinat turnat pe același spirt compus se aprinde și că *pulvis fulminans*\*, compus din sulf, salpetru și sare de tartru explodează mai rapid și mai violent decît praful de pușcă, spirturile acide de sulf și de salpetru repezindu-se unul spre altul și spre sarea de tartru cu o mare violență și prin ciocnire trecînd totul imediat în vapori și flacără? Cînd dizolvarea e înceată, ea produce o fierbere lentă și o căldură nu prea mare, cînd este mai rapidă produce o fierbere intensă cu mai multă căldură, iar cînd se întîmplă instantaneu fierberea produce un suflu brusc sau o explozie violentă, cu o căldură egală cu aceea a focului și a flăcării. Astfel, cînd un dram de spirt de salpetru compus, menționat mai sus, se turna peste o jumătate de dram de ulei de sămînță de chimion *in vacuo*, amestecul dădea imediat o fulgerare ca a prafului de pușcă și spărgea recipientul de sticlă lat de șase inch și înalt de opt inch. Chiar bucățile mari de sulf sfărîmate și transformate în pastă cu o greutate egală de pilitură de fier și puțină apă acționează asupra fierului și în cinci sau șase ore devine atît de caldă că nu poate fi atinsă cu mîna și produce o flacără. Comparînd aceste experiențe cu marea cantitate de sulf în care Pămîntul abundă și căldura părților interioare ale Pămîntului, izvoarele calde, vulcanii, gazele ce ies din mină, lumina minerală, cutremurele de pămînt, exalațiile calde sufocante, uraganele și trombele marine, putem constata că vaporii sulfuroși abundă în interiorul Pămîntului și fermentează cu mineralele și uneori se aprind cu o fulgerare bruscă și explozie, iar dacă sînt închise în caverne subterane sfărîmă cavernele, cutremurînd intens Pămîntul ca și cînd ar exploda o mină. Apoi vaporii produși de explozie, pătrunzînd prin porii Pămîntului, devin calzi și sufocați și produc furtuni și uragane, iar uneori dau naștere la alunecări de teren sau la o răscolire a mării și împrăștie apa ei în picături, care în urma greutății lor cad din nou ca un torent. De asemenea unii vaporii sulfuroși, ori de cîte ori aerul este uscat ridicîndu-se în aer, fermentează cu acidul azotic și uneori, luînd foc, cauzează fulgere și trăsnete și meteori

---

\* Praf exploziv, praf de pușcă.

de foc. Aerul este plin cu acizi gata să susțină fermentațiile, după cum se vede la ruginirea fierului și a cuprului în aer, la aprinderea focului prin suflare și la bătaia inimii prin respirație. Mișcările sus-menționate sînt atît de mari și de violente, încît arată că în fermentații particulele corpurilor, care sînt aproape în repaus sînt supuse la noi mișcări printr-un principiu foarte puternic care acționează asupra lor numai cînd ele se apropie una de cealaltă și le face să se întîlnească și să se lovească cu mare violență, să se încălzească prin mișcare, să se spargă una pe alta în bucăți și să dispară în aer, vapori și flăcără.

Dacă sarea de tartru *per deliquium* este turnată în soluția unui metal, precipită metalul și-l face să se depună la fundul lichidului sub formă de nămol; aceasta nu dovedește că particulele acide sînt atrase mai intens de sarea de tartru decît de metal și printr-o atracție mai intensă trec de la metal la sarea de tartru? La fel cînd o soluție de fier în *aqua fortis* dizolvă *lapis calaminaris*\*, se eliberează fierul sau o soluție de cupru dizolvă fierul introdus în ea și eliberează cuprul ori o soluție de argint dizolvă cuprul și eliberează argintul sau o soluție de mercur în *aqua fortis*, fiind turnată peste fier, cupru, staniu sau plumb, dizolvă metalul și eliberează mercurul; nu dovedește aceasta că particulele acide de *aqua fortis* sînt atrase mai intens de *lapis calaminaris* decît de fier, mai intens de fier decît de cupru, mai intens de cupru decît de argint și mai intens de fier, cupru, staniu și plumb decît de mercur? Nu din același motiv necesită fierul mai multă *aqua fortis* ca să-l dizolve decît cuprul, iar cuprul mai mult decît celelalte metale și dintre toate metalele fierul se dizolvă mai ușor și rugineste cel mai repede, iar imediat după fier cuprul?

Cînd uleiul de vitriol se amestecă cu puțină apă sau a curs *per deliquium*, iar în distilare apa se ridică cu greu și antrenează cu ea cîteva părți din uleiul de vitriol sub formă de spirt de vitriol și acest spirt turnat peste fier, cupru sau sare de tartru se unește cu corpul și eliberează apa, aceasta nu arată că spirtul acid este atras de apă, dar este atras mai mult de corpul solid decît de apă și deci eliberează apa pentru a se uni cu corpul solid? Nu tot același este motivul pentru care apa și spirturile acide care sînt amestecate împreună cu oțet, *aqua fortis* și spirtul de sare se unesc și se ridică împreună în distilare, însă dacă se toarnă *menstruum*\*\* peste sarea de tartru sau peste plumb ori fier sau vreun corp solid pe care-l poate dizolva, acidul, printr-o atracție mai intensă, aderă la corp și eliberează apa? Nu provine

---

\* Silicat de acid de zinc.

\*\* Dizoluant, solvent.

dintr-o atracție reciprocă faptul că spirturile de sudoare\* și de sare marină se unesc și compun particulele de sare de amoniac, care sînt mai puțin volatile decît mai înainte, fiindcă sînt mai mari și mai libere de apă, că particulele de sare de amoniac în sublimare antrenează particulele de antimoniu care singure nu ar sublima, că particulele de mercur, unindu-se cu particulele acide de spirt de sare, compun mercurul sublimat, iar cu particulele de sulf compun cinabru, iar particulele de spirt de vin și spirt de urină bine rafinate se unesc și, eliberînd apa care le dizolvă, compun un corp consistent și că, prin sublimarea cinabrului din sarea de tartru sau din var nestins, sulful, printr-o atracție mai intensă a sării sau a varului, eliberează mercurul și rămîne corpul solid, iar dacă mercurul sublimat se sublimază din antimoniu sau din stibiu, spirtul de sare eliberează mercurul și se unește cu antimoniu metalic care-l atrage mai tare și rămîne cu el pînă ce căldura devine atît de mare încît le face să se ridice împreună și atunci antrenează metalul cu el sub forma unei sări foarte fuzibile numite unt de antimoniu, deși spirtul de sare singur este aproape tot atît de volatil ca și apa, iar antimonul singur atît de solid ca plumbul?

Cînd *aqua fortis* dizolvă argintul și nu aurul iar *aqua regia* \*\* dizolvă aurul și nu argintul, nu se poate spune că *aqua fortis* este destul de subtilă pentru a pătrunde aurul tot atît de bine ca argintul, dar că îi lipsește forța atractivă pentru a-l penetra, la fel că *aqua regia* este destul de subtilă pentru a pătrunde argintul ca și aurul, dar nu posedă forța atractivă pentru a-l penetra? Într-adevăr, *aqua regia* nu e altceva decît *aqua fortis* amestecată cu spirt de sare sau cu sare de amoniac; chiar sarea gemă dizolvată în *aqua fortis* face ca *menstruum*-ul să dizolve aurul, deși sarea este un corp solid. Prin urmare, cînd spirtul de sare precipită argint din *aqua fortis*, aceasta nu are loc prin atracția și amestecarea cu *aqua fortis* și nu atrăgînd sau respingînd argintul? Cînd apa precipită antimoniu din sublimatul de antimoniu și din sarea de amoniac sau din unt de antimoniu, aceasta nu se petrece prin dizolvarea lor, amestecul și slăbirea sării de amoniac sau a spirtului de sare și nu atrăgînd sau probabil, respingînd antimoniu? Nu din cauza lipsei de forță de atracție între părțile apei și uleiului, ale argintului, ale plumbului și ale fierului provine faptul că aceste substanțe nu se amestecă? Din cauza unei atracții slabe mercurul și cuprul se atrag cu greu, pe cînd din cauza unei atracții intense mercurul și staniul,

---

\* Probabil în original *spirts of root*.

\*\* Apă regală.

antimoniul și fierul, apa și sarea se amestecă cu ușurință? În general nu din cauza aceluiași principiu căldura unește corpurile omogene și separă pe ele eterogene?

Cînd arsenicul cu săpunul produce un *regulus*, iar cu sublimatul de mercur o sare volatilă fuzibilă la fel ca untul de antimoniu, aceasta nu arată că arsenicul, care este o substanță total volatilă, este compusă din părți solide și volatile, unite cu tărie printr-o atracție reciprocă, astfel încît părțile volatile nu se ridică fără să le tragă și pe cele solide? La fel cînd o greutate egală de spirt de vin și de ulei de vitriol fierb împreună și prin distilare produc două spirturi volatile și mirositoare care nu se amestecă între ele, iar pe fund rămîne un pămînt negru solid, aceasta nu arată că uleiul de vitriol este compus din părți volatile și solide strîns unite prin atracție, astfel încît se ridică împreună sub forma unei sări volatile acide și fluide pînă cînd spirtul de vin atrage și separă părțile volatile de cele fixe? Deoarece însă uleiul de sulf \* *per campanam* \*\* este de aceeași natură cu uleiul de vitriol, nu se poate deduce că sulfatul este de asemenea un amestec de părți volatile și solide atît de coerente prin atracție, încît prin sublimare se ridică împreună. Dizolvînd flori de sulf în ulei de terebentină și distilînd soluția, s-a găsit că sulful este compus dintr-un ulei dens, inflamabil sau dintr-un bitumen gras, o sare acidă, un pămînt foarte solid și puțin metal. Primele trei sînt aproape egale între ele, al patrulea e în cantitate așa de mică, încît abia se poate lua în considerare. Sarea acidă dizolvată în apă este aceeași cu uleiul de sulf *per campanam* și se află din abundență în interiorul Pămîntului, în special în marcasite \*\*\*, ele însele fiind unite cu celelalte ingrediente de marcasită, care sînt bitumen, fier, cupru și pămînt și cu ele formează alaun, vitriol și sulf; numai cu pămînt formează alaun; numai cu metal sau cu metal împreună cu pămîntul dă naștere la vitriol, iar cu bitum și pămînt formează sulf. De aici provine faptul că marcasitele abundă în aceste trei minerale. Oare nu din atracția reciprocă a ingredientelor provine faptul că ele se unesc pentru a compune aceste minerale și că bitumenul antrenează celelalte ingrediente de sulf care fără el nu ar sublima? Aceeași întrebare se poate pune privitor la toate sau aproape la toate corpurile masive din natură. Căci toate

---

\* *Oleum sulphuris*, amoniu de sulf supradistilat, preparat dintr-un amestec de salmiac, var și sulf.

\*\* Sub clopot, adică sub vid.

\*\*\* Diferite minereuri de sulf.

părțile animalelor și vegetalelor sînt compuse din substanțe volatile și fixe, fluide și solide, după cum reiese din analiza lor; la fel sînt sărurile și mineralele în măsura în care chimiștii au fost în stare pînă acum să le examineze compoziția.

Sublimatul de mercur resublimat cu mercur proaspăt se transformă în *mercurius dulcis* \*, care este un pămînt alb fără gust, greu dizolvabil în apă, iar *mercurius dulcis* resublimat cu spirt de sare redevine sublimat de mercur; metalele corodate de puțin acid se transformă în rugină, care este un pămînt fără gust și indisolubil în apă, și acest pămînt îmbibat cu mai mult acid devine o sare metalică; unele pietre, ca spatul de plumb dizolvat în propriul său *menstruum*, se transformă în săruri. Aceste lucruri nu arată că sărurile sînt pămînturi uscate și acizi apoși unite prin atracție și că pămîntul nu se va transforma în sare fără o cantitate de acid suficientă pentru a-l face să se dizolve în apă? Gustul acru și înțepător al acizilor nu provine de la atracția intensă prin care particulele acide pătrund și agită particulele limbii? Iar cînd metalele se dizolvă în *menstrum*-uri acide și acizii în combinație cu metalul acționează în mod diferit, astfel încît compusul are un gust diferit cu mult mai puțin picant decît mai înainte, ba uneori chiar dulce, aceasta nu este din cauză că acizii aderă la particulele metalice și deci pierd mult din activitatea lor? Dacă acidul este în cantitate prea mică pentru a face ca compusul să se dizolve în apă, nu din cauza că aderă intens la metal devine inactiv și-și pierde gustul, iar compusul devine un pămînt fără gust? Căci astfel de substanțe, neputîndu-se dizolva în umiditatea limbii, nu acționează asupra simțului gustului.

După cum gravitația face ca marea să se răspîndească spre părțile mai dense și mai grele ale globului terestru, la fel atracția poate face ca acidul apos să curgă în jurul particulelor mai dense și mai compacte ale pămîntului pentru a forma particulele de sare. Altfel acidul nu ar juca rolul de mediu între pămînt și apa naturală pentru a face ca sărurile să se dizolve în apă, nici sarea de tartru nu ar extrage ușor acidul din metalele dizolvate, nici metalele acidul din mercur. După cum pe marele glob al Pămîntului și pe mări corpurile mai dense, în urma greutății lor, se cufundă în apă și totdeauna caută să se coboare spre centrul globului, la fel în particulele de sare materia mai densă totdeauna tinde să se apropie de centrul particulei, astfel că o particulă de sare poate fi comparată

---

\* Calomel, clorură mercurioasă.



cu un haos, fiind densă, dură, uscată și pămîntoasă în centru și rară, moale, umedă și apoasă la suprafață. De aici se pare că sărurile sînt de natură durabilă, greu de distrus dacă nu se îndepărtează părțile apoase cu violență sau lăsîndu-le să pătrundă în porii centrului pămîntului datorită unei călduri nu prea mari de putrefacție, pînă ce pămîntul este dizolvat de apă, și se separă în particule mai mici, care din cauza micimii lor fac ca compusul putred să apară de culoare neagră. De aici e probabil că rezultă și faptul că părțile animalelor și vegetalelor își păstrează diversele forme și-si asimilează hrana; hrana moale și umedă își schimbă ușor țesutul prin căldură și mișcare moderată pînă ce devine asemenea unui pămînt dens, dur, uscat și durabil în centrul fiecărei particule. Cînd însă hrana devine imposibil de asimilat sau pămîntul central devine prea slab pentru a-l asimila, mișcarea sfîrșește în confuzie, putrefacție și moarte.

Dacă o cantitate foarte mică de vreo sare sau de vitriol se dizolvă într-o cantitate mare de apă, particulele de sare sau de vitriol nu se duc la fund, cu toate că sînt specific mai grele decît apa, ci se vor difuza în mod egal în întreaga apă, încît o fac la fel de sărată sus ca și jos. Nu implică aceasta că părțile sării sau ale vitriolului se depărtează una de cealaltă și tind să se răspîndească și să se despartă cît le permite cantitatea de apă în care plutesc? Nu implică această tendință că ele au o forță repulsivă datorită căreia fug una de alta sau cel puțin că atrag mai intens apa decît se atrag una pe cealaltă? Căci, după cum se ridică în apă toate lucrurile care sînt mai puțin atrase decît apa de către forța gravitațională a Pămîntului, la fel toate particulele de sare care plutesc în apă și sînt mai puțin atrase decît apa de către orice particulă de sare trebuie să se depărteze de acea particulă și să facă loc apei care este atrasă mai mult.

Cînd un lichid sărat se vaporizează pînă la un strat subțire și este lăsat să se răcească, sarea formează figuri regulate, ceea ce dovedește că particulele de sare, înainte de a se uni, plutesc în lichid la distanțe egale așezate în șir și, în consecință, acționează reciproc cu o forță care la distanțe egale este egală, iar la distanțe inegale este inegală. Într-adevăr, printr-o astfel de forță ele se vor aranja uniform, iar fără ea vor pluti neregulat și se vor uni tot atît de neregulat. Deoarece particulele de cristal de Islanda acționează în același fel asupra razelor de lumină pentru a cauza refracția extraordinară, nu se poate presupune că la formarea acestui cristal particulele se aranjează în șir numai pentru a se uni în figuri regulate, ci, datorită unui fel de forță polară, își întorc laturile omogene în același chip?

Părțile tuturor corpurilor omogene dure care se ating complet între ele se țin foarte strâns împreună. Pentru a explica cum se poate întâmpla acest lucru, unii au inventat atomi cu cîrlige, lăsînd problema fără răspuns, iar alții spun că corpurile sînt lipite unul de altul prin repaus, adică printr-o calitate ocultă sau, mai bine, prin nimic; alții spun că ele sînt unite prin mișcări concurente, adică printr-un repaus relativ între ele. Eu deduc din coeziunea lor mai degrabă că particulele lor se atrag reciproc cu o forță care la contactul direct este extrem de intensă; la distanțe mici efectuează operațiile chimice menționate mai sus și nu acționează departe de particule cu vreun efect sensibil.

Toate corpurile par a fi compuse din particule dure, altfel fluidele nu ar congela. Astfel se întâmplă cu apa, uleiul, oțetul și spirtul sau uleiul de vitriol prin înghețare, mercurul prin fumul de plumb, spirtul de azot și mercur prin dizolvarea mercurului și evaporarea părților mucilaginoase, spirtul de vin și spirtul de urină prin deshidratarea și amestecul lor, iar sarea alcalină și spirtul de sare prin sublimarea lor împreună pentru a da sare de amoniac. Chiar razele de lumină par să fie corpuri dure, căci altfel nu ar păstra proprietăți diferite în diversele lor laturi. Prin urmare, duritatea poate fi considerată drept o proprietate a oricărei materii necompuse. Cel puțin aceasta pare a fi tot atît de evident ca penetrabilitatea universală a materiei. Într-adevăr, pe cît arată experiența, toate corpurile sau sînt dure, sau pot fi făcute dure, și nu avem nici o altă evidență despre impenetrabilitatea universală decît o largă experiență fără nici o excepție experimentală. Dacă însă corpurile compuse sînt tot atît de dure, după cum constatăm că sînt unele dintre ele, și în același timp foarte poroase și constau din părți care sînt numai așezate una lîngă alta, particulele simple care sînt lipsite de pori și nu au fost niciodată divizate trebuie să fie cu mult mai dure. Căci astfel de particule îngrămădite laolaltă nu se pot atinge decît în cîteva puncte și deci trebuie să fie separabile printr-o forță cu mult mai mică decît se cere pentru a sfărîma o particulă solidă, ale cărei părți se ating în tot spațiul dintre ele fără ca porii sau interstițiile să le slăbească coeziunea. Este foarte greu de conceput în ce fel astfel de particule, care sînt numai așezate împreună și se ating numai în cîteva puncte, se pot ține împreună, și aceasta cu tăria cu care o fac fără ajutorul vreunei cauze care să le facă să se atragă sau să se preseze una spre alta.

Aceeași concluzie o trag eu atît din coeziunea a două plăci de marmură lustruite *in vacuo* cît și din faptul că mercurul rămîne sus-

pendat în barometru la înălțimea de 50,60 sau 70 inch sau mai sus, chiar dacă este bine curățat de aer și turnat în el cu grijă, astfel că toate părțile lui sînt strîns învecinate atît una cu alta, cît și cu sticla. Atmosfera, datorită greutății ei, presează mercurul în tubul de sticlă pînă la înălțimea de 29 sau 30 inch. Alți agenți însă îl ridică mai sus, nu presîndu-l în tub, ci făcînd ca părțile sale să adere la sticlă și să se atașeze una de alta. Producîndu-se orice discontinuitate a părților, cauzată fie de bule, fie de scuturarea tubului, tot mercurul curge jos pînă la înălțimea de 29 sau 30 inch.

De același fel cu aceste experiențe sînt și cele ce urmează. Dacă două plăci de sticlă plane lustruite (de exemplu două bucăți de oglindă șlefuită) se pun laolaltă, astfel ca fețele lor să fie paralele și la o distanță foarte mică una de cealaltă, iar apoi muchiile lor de jos se cufundă în apă, apa se va urca între ele. Cu cît este mai mică distanța dintre sticle, cu atît va fi mai mare înălțimea pînă la care se va ridica apa. Dacă distanța este de vreo sutime de inch, apa se va ridica pînă la înălțimea de aproximativ un inch, iar dacă distanța va fi mai mare sau mai mică în vreun raport oarecare, înălțimea va fi foarte aproximativ invers proporțională cu distanța. Într-adevăr forța de atracție a sticlelor este aceeași, indiferent dacă distanța dintre ele este mai mare sau mai mică, iar greutatea apei trasă în sus este aceeași dacă înălțimea ei este invers proporțională cu distanța dintre sticle. În același fel, apa se ridică între două plăci de marmură lustruită cînd fețele ei netede sînt paralele și la o distanță foarte mică una de alta. Iar dacă cufundăm tuburi subțiri de sticlă cu un capăt în apă liniștită, apa se va urca în interiorul tubului, iar înălțimea la care se ridică va fi invers proporțională cu diametrul cavității tubului și va fi egală cu înălțimea la care se ridică între două plăci de sticlă dacă semidiametrul cavității tubului este egal sau aproape egal cu distanța dintre plăci. Aceste experiențe reușesc la fel *in vacuo* ca și în aer liber (după cum s-a demonstrat în fața Societății Regale) și, în consecință, nu sînt influențate de greutatea sau de presiunea atmosferei.

Dacă un tub larg de sticlă se umple cu cenușă cernută bine și presată în sticlă și un capăt al tubului se cufundă în apă liniștită, apa se va urca încet în cenușă, astfel că într-o săptămînă sau două ajunge în interiorul sticlei pînă la înălțimea de 30 sau 40 inch deasupra nivelului apei. Apa se ridică la această înălțime sub acțiunea numai a acelor particule de cenușă care se află la suprafața apei ridicate, particulele din apă atrăgînd-o sau respingînd-o în aceeași

măsură în jos ca și în sus. Prin urmare, acțiunea particulelor este foarte intensă. Dar particulele de cenușă nefiind atât de dense și de strânse laolaltă ca cele de sticlă, acțiunea lor nu e atât de intensă ca aceea a sticlei, care ține suspendat mercurul la înălțimea de 60 sau 70 inch, și deci acționează cu o forță care ar ține apa suspendată la o înălțime de peste 70 de picioare.

Potrivit aceluiași principiu, un burete absoarbe apa, iar glandele în corpurile animalelor, după naturile și dispozițiile lor diferite, absorb diverse sucuri din sânge.

Două plăci de sticlă plane paralele late de trei sau patru inch și lungi de 20 sau 25 inch sînt așezate una paralel cu orizontul, iar cealaltă peste cea dintîi, astfel ca una dintre extremitățile lor să se atingă și să formeze un unghi de vreo 10 sau 15 minute. Mai întîi udăm fețele interioare cu o cîrpă curată muiată în ulei de portocală sau în spirt de terebentină; o picătură sau două de ulei sau de spirt cad pe sticla de jos la cealaltă extremitate. Îndată ce sticla de sus se așază peste cea de jos în așa fel ca să o atingă ca mai sus și să atingă picătura de la celălalt capăt, făcînd cu sticla de jos un unghi de vreo 10 sau 15 minute, picătura va începe să se miște spre locul de contact al celor două sticle și va continua să se miște cu o mișcare accelerată pînă ce va ajunge la locul de contact al sticlelor. Căci cele două sticle atrag picătura și o fac să alerge spre partea către care înclină atracția. Dacă atunci cînd picătura este în mișcare ridicați acel capăt al sticlelor în care se întîlnesc și spre care se mișcă picătura, aceasta se va urca între sticle și deci este atrasă. După cum ridicați sticlele din ce în ce mai mult, picătura se va urca tot mai încet și, în fine se oprește, fiind atunci trasă în jos de greutatea sa și în aceeași măsură în sus de atracție. Prin acest mijloc puteți cunoaște forța cu care e atrasă picătura la toate distanțele de la întîlnirea sticlelor.

Prin mai multe experiențe de acest gen (făcute de d. Hauksbee) s-a găsit că atracția este aproape invers proporțională cu pătratul distanței mijlocului picăturii de la locul de contact al sticlelor. Este invers proporțională din cauza răspîndirii picăturii și a faptului că ea atinge fiecare sticlă pe o suprafață mai mare și din cauza atracțiilor care devin mai intense pentru aceeași cantitate de suprafață ce atrage. Prin urmare, atracția pentru aceeași cantitate de suprafață care atrage este invers proporțională cu distanța dintre sticle. Deci, acolo unde distanța este extrem de mică, atracția trebuie să fie extraordinar de mare. În tabela din partea a II-a, a cărții a II-a, unde se arată grosimile lamelor colorate de apă dintre două sticle, grosimea lamelei unde ea apare foarte neagră este de  $\frac{3}{8}$  000 000 inch. Cînd uleiul

de portocale dintre sticle are această grosime, atracția dedusă din regula precedentă pare să fie atît de intensă, încît la un cerc cu diametrul de un inch este suficientă să susțină o greutate egală cu a unui cilindru de apă de un inch diametru și cu o lungime de trei *furlongs*\*. Cînd grosimea ei este mai mică, atracția poate fi corespunzător mai mare și continuă să crească pînă ce grosimea ei nu depășește grosimea unei singure particule de ulei. În consecință, există în natură agenți capabili să unească particulele corpurilor prin atracții foarte intense și revine filozofiei experimentale sarcina să-i descopere.

Particulele cele mai mici de materie se pot uni prin atracțiile cele mai intense și pot compune particule mai mari dar mai slabe, iar unele dintre ele se pot uni și compune particule mai mari și mai slabe și așa mai departe în diverse succesiuni pînă ce progresia se termină în particulele cele mai mari, de care depind operațiile în chimie și culorile corpurilor naturale și care prin coeziune compun corpuri de mărime observabilă. Dacă corpul e compact și se îndoaie sau cedează în interior la presiune fără vreo alunecare a părților sale, el este dur și elastic, reluîndu-și forma cu o forță născută din atracția mutuală a părților sale. Dacă părțile alunecă una peste alta, corpul e maleabil sau moale. Dacă ele alunecă ușor și au o mărime potrivită pentru a fi agitate de căldură, iar căldura e destul de mare pentru a le menține în agitație, corpul este fluid și, dacă este capabil să se atașeze la alte corpuri, este umed, iar picăturile tuturor fluidelor iau o formă rotundă din cauza atracției reciproce a părților lor, după cum globul Pămîntului și marea formează o figură rotundă în urma atracției reciproce a părților lor prin gravitație.

Deoarece metalele dizolvate în acizi atrag numai o cantitate mică de acid, forța lor de atracție nu poate ajunge decît la o mică distanță de ele. După cum în algebră, acolo unde dispar și încetează cantitățile pozitive încep cele negative, la fel în mecanică, unde încetează atracția, trebuie să urmeze o forță repulsivă. Existența unei astfel de forțe pare să rezulte din reflexiile și inflexiunile razelor de lumină. Căci razele sînt respinse de corpuri în amîndouă aceste cazuri, fără contactul imediat al corpului care produce reflexia sau inflexia. Aceasta pare să rezulte și din emisia luminii; raza de lumină, îndată ce este emisă de un corp luminos prin mișcarea vibratorie a părților corpului și ajunge dincolo de sfera de atracție, este împinsă cu o viteză excesiv de mare. Forța suficientă s-o întoarcă înapoi în reflexie poate fi suficientă și s-o emită. Aceasta pare să urmeze și din

---

\* 1 furlong = 201,16m (veche măsură englezească).

producerea aerului și a vaporilor. Când particulele sînt emise de corpuri prin căldură și fermentație, îndată ce ele ies din domeniul de atracție al corpului se îndepărtează de el și unele de altele cu mare putere și tind spre o astfel de distanță, încît uneori ocupă un spațiu de peste un milion de ori mai mare decît acela pe care-l ocupau mai înainte sub forma unui corp dens. Această contracție și expansiune enormă par de neînțeles dacă ne imaginăm particulele de aer elastice și rămuroase sau ca niște nuiete înfășurate în cerc, sau sub orice altă formă decît ca forță repulsivă. Particulele de fluid care nu sînt legate prea tare și care sînt atît de mici încît sînt susceptibile la agitațiile de care depinde fluiditatea lichidelor se separă și se rarefiază mai ușor în vapori, adică în limbajul chimiștilor sînt volatile, rarefiindu-se la o căldură nu prea mare și condensîndu-se la frig. Acelea însă care sînt mai mari și astfel mai puțin susceptibile la agitație sau sînt unite printr-o atracție mai intensă nu se separă decît la o căldură mai mare sau probabil numai prin fermentație. Acestea din urmă sînt corpurile pe care chimiștii le numesc solide și, fiind rarefiate prin fermentație, devin adevărat aer permanent; aceste particule, îndepărtîndu-se una de alta cu cea mai mare forță, sînt foarte greu de unit, dar prin contact devin foarte coerente. Fiindcă particulele aerului permanent sînt mai mari și provin din substanțe mai dense decît ale vaporilor, aerul adevărat este mai greu decît vaporii și o atmosferă umedă este mai ușoară decît cea uscată. Din cauza aceleiași puteri repulsive se pare că muștele se plimbă pe apă fără să-și ude picioarele, sticlele-obiectiv ale telescoapelor lungi stau una peste alta fără a se atinge, pulberile uscate sînt greu de adus în contact între ele astfel ca să se unească decît topindu-le sau udîndu-le cu apă, care, evaporîndu-se, le poate uni, și două plăci de marmură lustruită care aderă prin contact imediat sînt astfel greu de adus în contact așa încît să adere.

În acest fel, natura va fi foarte conformă cu ea însăși și foarte simplă, efectuînd toate mișcările mari ale corpurilor grele prin atracția gravitațională care acționează aceste corpuri și aproape toate mișcările mici ale particulelor lor prin diferite alte puteri atractive sau repulsive care acționează particulele. *Vis inertiae* este un principiu pasiv prin care corpurile persistă în mișcarea sau repausul lor, primesc mișcarea proporțional cu forța ce li se imprimă și rezistă în măsura în care li se rezistă. Datorită acestui singur principiu, nu s-ar fi produs niciodată vreo mișcare în lume. Era necesar un alt principiu pentru a pune corpurile în mișcare, și pentru că ele sînt în mișcare este necesar un alt principiu care să conserve mișcarea. Într-adevăr,

din compunerea diferită a două mișcări este sigur că nu totdeauna există aceeași cantitate de mișcare în lume. Dacă două sfere unite printr-o vergea subțire se rotesc în jurul centrului lor comun de greutate cu o mișcare uniformă, în timp ce centrul se mișcă uniform pe o linie dreaptă trasată în planul mișcării lor circulare, suma mișcărilor celor două sfere, ori de câte ori sferile sînt în linie dreaptă descrisă de centrul lor comun de greutate, va fi mai mare decît suma mișcărilor lor cînd ele se află pe o linie perpendiculară pe acea dreaptă. Din acest exemplu se vede că mișcarea se poate cîștiga sau pierde. Dar din cauza tenacității fluidelor, a frecării părților lor și a slabei elasticități a solidelor, mișcarea este cu mult mai posibil să se piardă decît să fie cîștigată și ea întotdeauna scade. Corpurile care sînt fie absolut dure, fie atît de moi încît sînt lipsite de elasticitate nu se vor ciocni unul de altul. Impenetrabilitatea le face numai să se oprească. Dacă două corpuri egale se întîlnesc direct *in vacuo*, potrivit legilor mișcării, se vor opri unde se întîlnesc, își vor pierde toată mișcarea și vor rămîne în repaus dacă nu sînt cumva elastice și primesc o nouă mișcare de la elasticitatea lor. Dacă au elasticitate suficientă care le face să sară înapoi cu un sfert, o jumătate sau trei sferturi din forța cu care s-au ciocnit, ele își vor pierde trei sferturi, jumătate sau un sfert din mișcarea lor. Aceasta se poate verifica lăsînd să cadă de la înălțimi egale în sensuri opuse două pendule egale. Dacă pendulele sînt din plumb sau din argilă moale, ele își vor pierde întreaga sau aproape întreaga mișcare. Dacă sînt din material elastic, își vor pierde toată mișcarea, cu excepția celei care provine din elasticitate. Dacă se zice că ele nu pot pierde altă mișcare decît aceea pe care o comunică altor corpuri, consecința este că *in vacuo* nu pot pierde nici o mișcare, iar atunci cînd se întîlnesc trebuie să continue să înainteze și să pătrundă unul în celălalt. Dacă umplem trei vase egale rotunde, unul cu apă, celălalt cu ulei, al treilea cu smoală topită, și le agităm la fel pentru a le da o mișcare de rotație, smoala își va pierde repede mișcarea datorită durtății sale, uleiul, fiind mai puțin dur, o va menține mai îndelung, pe cînd apa, fiind și mai puțin dură, o va menține și mai mult, totuși o va pierde în scurtă vreme. De aici e ușor de înțeles că, dacă mai multe vîrtejuri vecine de smoală topită ar fi fiecare atît de mare ca acelea pe care unii presupun că se învîrtesc în jurul Soarelui și al stelelor fixe, totuși aceste vîrtejuri și toate părțile lor își vor comunica, datorită durtății și rigidității lor, mișcările pînă ce toate vor ajunge în repaus. Vîrtejurile de ulei sau apă, ori de alte materii fluide își pot continua mișcarea mai îndelung; dar dacă materia ar fi lipsită de orice duritate, frecare a părților și comunicare a mișcărilor



(ceea ce nu se poate presupune), mișcarea ar slăbi încontinuu. Văzînd așadar, că varietatea mișcărilor pe care le întîlnim în lume este în continuă descreștere, este necesar ca ele să se conserve și să se reînnoiască prin principii active, cum este cauza gravitației, prin care planetele și cometele își mențin mișcările pe orbite, iar corpurile capătă o mișcare rapidă în cădere; apoi cauza fermentației, prin care inima și sîngele animalelor sînt menținute în mișcare și în căldură perpetuă; părțile interioare ale Pămîntului sînt permanent încălzite, iar în anumite locuri se încălzesc chiar foarte mult; corpurile ard și luminează, munții emit flacări, cavernele Pămîntului sînt împinse în sus, iar Soarele continuă cu violență să fie cald și strălucitor și încălzește toate lucrurile prin lumina sa. Întîlnim foarte puțină mișcare în lume afară de cea datorită acestor principii active. Fără aceste principii, corpurile Pămîntului, planetelor, cometelor, Soarelui și toate lucrurile din ele s-ar răci și îngheța și ar deveni mase inactive; orice putrefacție, generare, vegetație și viață ar înceta, iar planetele și cometele nu ar rămîne pe orbitele lor.

Considerînd toate acestea, mi se pare probabil că Dumnezeu la început a format materia din particule solide, masive, dure, impetrabile, mobile, cu astfel de mărimi și figuri și cu astfel de alte proprietăți și în astfel de proporție cu spațiul ca să convină mai bine scopului pentru care le-a format și că aceste particule primitive, fiind solide, sînt incomparabil mai dure decît orice corp poros compus din ele; chiar așa de dure, încît niciodată nu se uzează sau sfărîmă în bucăți, nici o putere obișnuită nu e în stare să dividă ceea ce însuși Dumnezeu a făcut în prima creație. În timp ce particulele rămîn întregi, ele pot compune corpuri de una și aceeași natură și textură în toate epocile; dacă însă se uzează și se prefac în bucăți, natura lucrurilor, depinzînd de ele, se va schimba. Apa și pămîntul compuse din particule vechi uzate și din fragmente de particule nu vor fi acum de aceeași natură și textură cu apa și pămîntul compuse din particule întregi ca la început. Prin urmare, pentru ca natura să fie durabilă, schimbările lucrurilor corporale trebuie să constea numai în separări variate, în asocieri și mișcări noi ale acestor particule permanente, corpurile compuse fiind capabile să se rupă nu în mijlocul particulelor solide, ci acolo unde acele particule sînt așezate laolaltă și se ating numai în cîteva puncte.

Mi se pare apoi că aceste particule nu au numai o *vis inertiae* însoțită de o astfel de lege pasivă a mișcării cum rezultă în mod natural din acea forță, ci și că ele se mișcă datorită unor principii active, cum este al gravitației și cel care cauzează fermentația și coeziunea



corpurilor. Eu nu consider aceste principii drept calități oculte, presupuse a rezulta din formele specifice ale lucrurilor, ci ca legi generale ale naturii, prin care sînt formate înseși lucrurile, adevărul lor apărîndu-ne din fenomene, deși cauzele lor nu sînt încă descoperite. Acestea sînt calități evidente și numai cauzele lor sînt oculte. *Aristotelienii* au dat numele de calități oculte nu calităților evidente, ci numai aceloră despre care presupuneau că există ascunse în corpuri și sînt cauzele necunoscute ale efectelor manifestate, cum ar fi cauzele gravitației, ale atracțiilor magnetice și electrice și ale fermentațiilor dacă am presupune că aceste forțe sau acțiuni provin din calități necunoscute nouă și imposibil de a fi descoperite și puse în evidență. Astfel de calități oculte împiedică progresul filozofiei naturale și, în consecință, în ultimii ani au fost înlăturate. A ni se spune că fiecare specie de lucruri este înzestrată cu o calitate ocultă specifică prin care ea acționează și produce efecte evidente înseamnă a nu ni se spune nimic; dar a deduce două sau trei principii generale ale mișcării din fenomene și apoi a ne spune în ce fel rezultă proprietățile și acțiunile tuturor lucrurilor corporale din acele principii evidente, aceasta ar fi un mare pas în filozofie, deși cauzele acelor principii încă nu s-au descoperit. În consecință eu nu șovăi de a propune principiile mișcării menționate mai sus, ele fiind de o extindere foarte generală, și las în seama altora să le descopere cauzele.

Cu ajutorul acestor principii, toate lucrările materiale par a fi fost compuse din particulele dure și solide menționate mai sus, asociate în mod variat în prima creație după planul unui agent inteligent. Căci cel care le-a creat trebuia să le pună în ordine. Iar dacă a făcut așa este nefilozofic să căutăm o altă origine a lumii sau să pretindem că ea se poate naște dintr-un haos numai prin legile naturii, cu toate că, odată formată, ea își poate continua existența prin aceste legi epoci de-a rîndul. Într-adevăr, deoarece cometele se mișcă pe orbite foarte excentrice în toate direcțiile, destinul orb nu va putea face niciodată ca toate planetele să se miște în același sens pe orbite concentrice, cu excepția unor iregularități neînsemnate ce s-au putut ivi în urma unor acțiuni reciproce ale cometelor și planetelor și care sînt în stare să crească pînă cînd sistemul va trebui să fie reformat. O astfel de uniformitate minunată în sistemul planetar trebuie atribuită efectului alegerii. Același lucru trebuie spus despre uniformitatea din corpurile animalelor, aceasta avînd în general o latură dreaptă și una stîngă formate la fel și de fiecare latură a corpului lor două picioare dinapoi și sau două brațe, sau două picioare sau două aripi dinainte pe umeri, iar între umeri un gît ce se continuă în jos prin șira spinării și deas-

pra lui este capul, iar în cap două urechi, doi ochi, un nas, o gură și o limbă așezată în același chip. La fel este prima formație a părților foarte delicate ale animalelor, ca ochii, urechile, creierul, mușchii, inima, plămîinii, diafragma, glandele, laringele, mîinile, aripile, bășica de înotat, ochelarii naturali și alte organe ale simțului și mișcării, iar instinctul brutelor și insectelor nu poate fi altceva decît efectul înțelepciunii și inteligenței unui agent puternic veșnic viu, care, fiind pretutindeni este mai capabil să miște prin voința sa corpurile în interiorul *sensorium-lui* său uniform nemărginit și deci să formeze și să reformeze părțile universului decît sîntem în stare să mișcăm prin voința noastră părțile propriului nostru corp. Totuși nu trebuie să considerăm lumea drept corpul lui Dumnezeu sau diversele ei părți drept părți ale lui Dumnezeu. El este o ființă uniformă, lipsit de organe, membre sau părți, și acestea sînt creaturile sale subordonate lui și depinzînd de voința lui; el nu este mai mult sufletul lor decît este sufletul omului, speciilor lucrurilor duse de organele simțului în locul senzației lor, unde le percepe prin prezența lor imediată, fără intervenția unui al treilea lucru. Organele simțului nu servesc de a pune sufletul în stare să perceapă speciile lucrurilor în *sensorium-ul* său, ci numai la a le conduce acolo, iar Dumnezeu nu are trebuință de astfel de organe, fiindcă este pretutindeni prezent lucrurilor înseși. Fiindcă spațiul e divizibil *in infinitum*, iar materia nu se află în mod necesar în toate locurile, putem admite de asemenea că Dumnezeu este capabil să creeze particule de materie de diverse mărimi și figuri și în diverse cantități în spațiu și probabil de diferite cantități și forțe și deci să varieze legile naturii și să facă lumi de diverse feluri în diferitele părți ale universului. În fine, eu nu văd în toate acestea nici o contradicție.

În filozofia naturală, la fel ca în matematică, investigarea lucrurilor dificile prin metoda analitică trebuie să preceadă metoda sintetică. Analiza constă în a face experiențe și observații și a trage din ele prin inducție concluzii generale și a nu admite nici o obiecție împotriva concluziilor decît dacă sînt luate din experiență sau alte adevăruri sigure. Ipotezele nu trebuie luate în considerare în filozofia experimentală. Cu toate că argumentele scoase prin inducție din experiențe și observații nu sînt demonstrații ale concluziilor generale, totuși este metoda cea mai bună de argumentare pe care o admite natura lucrurilor și poate fi considerată cu atît mai riguroasă cu cît inducția este mai generală. Iar dacă din fenomene nu rezultă nici o excepție, concluzia poate fi enunțată în general. Dacă însă cu timpul se ivește vreo excepție din experiențe, enunțarea se poate

face cu excepțiile care intervin. Prin acest mod de analiză putem proceda de la compus la simplu și de la mișcare la forțele care o produc și, în general, de la efecte la cauzele lor, iar de la cauzele particulare la cele mai generale pînă ce argumentația devine cea mai generală. Aceasta este metoda analitică, iar cea sintetică constă în a admite cauzele descoperite și stabilite ca principii și cu ajutorul lor a explica fenomenele ce provin din ele și a demonstra explicațiile.

În primele două cărți ale acestei *Optici* am procedat prin analiză la descoperirea și la demonstrarea deosebirilor originale ale razelor de lumină privitoare la refrangibilitate, reflexibilitate și culoare și la alternativele accese de ușoară reflexie și ușoară transmisie, la proprietățile corpurilor, atît opace, cît și transparente, de care depind reflexiile și culorile lor. Aceste descoperiri fiind dovedite, se poate adopta metoda sintetică la explicarea fenomenelor ce decurg din ele. Un exemplu al acestei metode l-am dat la sfîrșitul cărții întîi. În această a treia carte am început numai să analizez ceea ce rămîne de descoperit privitor la lumină și efectele ei asupra corpurilor naturale, sugerînd anumite lucruri în această privință și lăsînd ca sugestiile să fie examinate și perfecționate prin observații ulterioare de către doritorii de a ști. Dacă prin această metodă filozofia naturală, în fine, se va perfecționa în toate părțile sale, hotarele filozofiei morale de asemenea se vor lărgi. Într-adevăr, în măsura în care putem cunoaște prin filozofia naturală care este cauza primă, ce putere are ea asupra noastră și ce binefaceri primim de la ea, în aceeași măsură ne va apărea prin lumina naturii datoria noastră față de ea, ca și a unora față de alții. Nu încapе îndoială că, dacă cultul falșilor zei nu i-ar fi orbit pe păgîni, filozofia lor morală ar fi progresat dincolo de cele patru virtuți cardinale și, în loc să învețe transmigrația sufletelor și să se închine la Soare și la Lună și la eroii decedați, ne-ar fi învățat să ne închinăm la adevăratul autor și binefăcător al nostru, după cum au făcut strămoșii lor sub domnia lui *Noah* și fiul său înainte de a se fi corupt.

